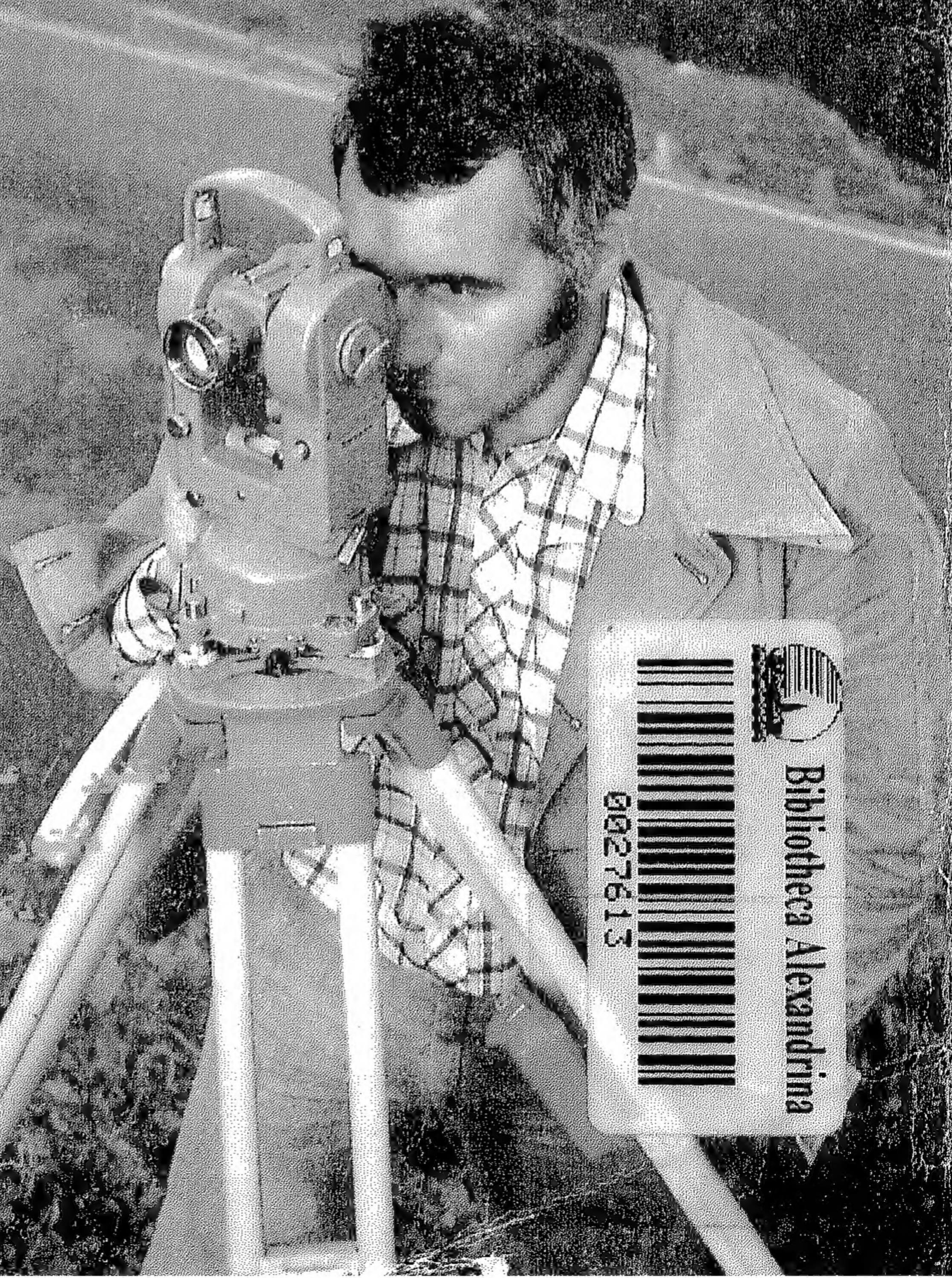


التحقيق في المساحة

# TOPOGRAPHIC SURVEYING

AND ITS APPLICATIONS IN CIVIL ENGINEERING



 Bibliotheca Alexandrina

0027613

















# المساحة الطبوغرافية

وتطبيقاتها في الهندسة المدنية

دكتور / علي سالم شكرى

دكتور / محمود حسني عبد الرحيم

دكتور / محمد رشاد الدين مصطفى

١٩٩١

الناشر // <sup>مستأجر</sup> ~~المستأجر~~ بالاسكندرية  
جلال حنّى وشركاه









« يَسْبَحُ لِلَّهِ مَا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ ، لَهُ الْمُلْكُ  
وَلَهُ الْحَمْدُ وَهُوَ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ » ١٠٠  
صدق الله العظيم







بسم الله الرحمن الرحيم

## مقدمة

نحمد الله رب العالمين الذى هدانا وأمدنا بقوته لنقدم إلى مصرنا الحبيبة وإلى العالم العربى المؤلف الثالث من هذه الموسوعة الكبيرة الشاملة فى فن المساحة والجيوديسيا إلى تحوى خمسة من المؤلفات عسى أن يستفيد بها كل من يعمل فى الحقل والمجال الهندسى .

ولقد شملت هذه الموسوعة من المؤلفات تكمل كل منها الأخرى أفقاً واسعة فى يسر وسهولة نزعنا عنها الحواشى لتكون علمية عملية مباشرة بكل ما تحمل من معانى وتسهم إلى النواحي التطبيقية دائماً . ولقد روعى فى هذه الطبعة لعلها الخامسة عشر أن تكون فى ثوب قشيب جديد يختلف عن سالف الطبعات مع حذف كل ما أصبح غير ذى موضوع أو قديم وإضافة كل ما هو جديد وحديث ويتمشى مع التكنولوجيا الحالية .

ولقد قسم هذا المؤلف إلى عدة أقسام فى ترتيب منطقى ينساب به فكر الطالب أو المهندس من قسم إلى آخر ، وخطوة بعد أخرى متدرجاً فى مواضيعه متفهماً لها بتطبيقاته مستوعباً لها بأمثلتها ومسائلها التى تقابلنا فى حياتنا العملية ولقد غطى هذا المؤلف عديد من الموضوعات الهامة جداً كالتيودوليت الحديث ومضلعاته المختلفة والمساحة التاكيومترية والمنحنيات بجميع أنواعها وتطبيقاتها فضلاً عن التطبيقات الدقيقة فى الهندسة المدنية كالأنفاق وحساب تحركات المنشآت ورأسيتها وخلافه .

ومن الناحية الشمولية فإن هذه الموسوعة تقع فيما يزيد عن ثلاثة آلاف وخمسمائة صفحة ومئات من المسائل والأمثلة . وقد بذل المؤلفون خاصة فى هذه الطبعة كل الجهد لأخراجها لتقدم خبرات وعلم أجيال ثلاثة بين الشباب والشيوخ . بأمانة تامة ، ونرجو من أعماق قلوبنا أن ترضى الله ورسوله ، ونقدم ، وخير ما يقدم الإنسان ، علم ينتفع به ويستفيد منه أبناؤها الذين هم أمل المستقبل ولنسهم ببعض ما يجب علينا من دين لوطننا العزيز .



وبشكر المؤلفون الأستاذ جلال حزى مدير وصاحب منشأة المعارف وإدارتها على تقديم أكبر وكل معونة مما ساعد على أخراج هذه الموسوعة في أحسن ثوب ومظهر .

• ربنا لا تزغ قلوبنا بعد إذ هديتنا وهب لنا من لدنك رحمة ، أنك أنت الوهاب • .

صدق الله العظيم

المؤلفون

محمد رشاد الدين مصطفى

محمود حسنى

على شكرى

فبراير ١٩٩١



القسم الأول  
التيودوليت الحديث  
**The Modern Theodolite**







## الباب الأول التيودوليت الحديث

تقديم :

يعتبر جهاز التيودوليت أدق الأجهزة المستخدمة في رصد الاتجاهات وقياس الزوايا في المستويات الأفقية والرأسية وذلك في جميع فروع المساحة والجيوديسيا ، كذلك يستخدم التيودوليت في عمليات التوقيع الدقيق للمحاور المستقيمة والمنحنية وفي جميع أعمال التخطيط الهندسي للمشروعات .

وأجهزة التيودوليت المستخدمة تقسم من حيث طريقة رصد القراءة على الدائرة الأفقية أو الرأسية إلى نوعين هما :

١ — التيودوليت ذو الورنية .

٢ — التيودوليت الحديث .

كما تقسم أجهزة التيودوليت من حيث أسلوب وطريقة القياس به إلى نوعين أيضاً هما :

١ — تيودوليت الاتجاه .

٢ — تيودوليت التكرار .

**تيودوليت الاتجاه : ( Direction Theodolite )**

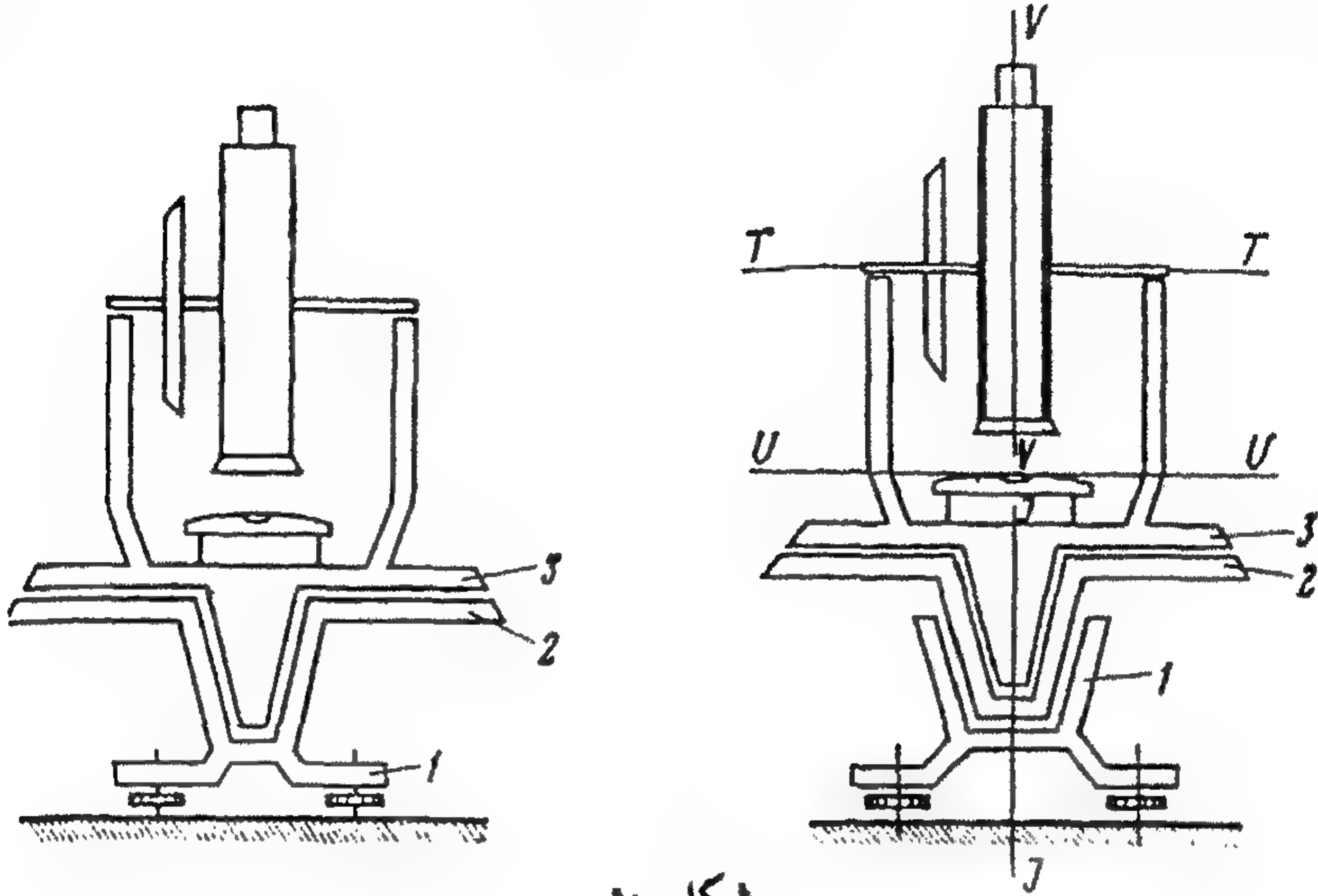
وهو مصمم بحيث أن الدائرة الأفقية فيه لا تتحرك بل تظل ثابتة عند رصد الزوايا المختلفة ، ولها محور رأسى واحد ، ويمكن تحديد أى قراءة نريدها على القرص الأفقى بإدارة مسمار خاص .

**تيودوليت التكرار : ( Repeating Theodolite )**

وهو مصمم بحيث يمكن به قياس أى زاوية ، وتكرار قياس هذه الزاوية



بحيث يظهر مجموع هذا التكرار بقيمة الزاوية على الدائرة الأفقية ، وهذا النوع له محوران رأسيان يمكن تحريك كل منهما على حدة . ومعظم هذا النوع من التيودوليت ذى الورنية . ولا يمكن استعمال تيودوليت الاتجاه في قياس الزوايا بطريقة التكرار . وشكل ( ١ ) يبين رسم توضيحي للاختلاف بين النوعين .



شكل (١)

#### تيودوليت اتجاه

- ١ - قاعدة الجهاز ومثبت عليها (٢) .
- ٢ - الدائرة الأفقية .
- ٣ - حامل الأليداد وبه ورنيت الدائرة الأفقية .

#### تيودوليت تكرار

- ١ - قاعدة الجهاز (منفصلة) .
- ٢ - الدائرة الأفقية .
- ٣ - حامل الأليداد وبه ورنيت الدائرة الأفقية .
- ٤ - المحور الرأسى الرئيسى للتيودوليت .

ولقد تناولنا فى المؤلف الأول من هذه المجموعة المساحية جميع ما يتعلق بالتيودوليت ذى الورنية من حيث تركيبه وطريقة القراءة للدائرة الأفقية والرأسية وطرق الرصد به ، واستخدامه فى قياس الزوايا الأفقية والرأسية ، وإجراء عمليات الرفع والتوقيع به .

أما فى هذا المؤلف فسنناول فيه جميع ما يتعلق بالتيودوليت الحديث .



## التيودوليت الحديث :

لقد أدخلت على أجهزة التيودوليت في السنوات الأخيرة تحسينات هامة ، سواء في التصميمات والصناعة ، أو وسائل قراءة الأرصاد أو المواد التي تصنع منها هذه الأجهزة وكذلك في حجمها ، بحيث أصبحت مغايرة تماماً للتيودوليت ذى الورنية فأطلق عليها التيودوليتات الحديثة .

وأهم أنواع التيودوليت الحديث هو ما يطلق عليه ( التيودوليت البصرى أو الميكروبتك ) ( Optical Theodolite or Microptic ) والذى يتم فيه قراءة الدائرة الأفقية والرأسية مباشرة بطرق بصرية .

وأول من فكر في إدخال هذه التحسينات الجوهرية على نطاق واسع في التيودوليت هو الأستاذ العالمى ( Henrich Wild ) عام ١٩٢١ .

وحالياً توجد تيودوليتات يتم الحصول على القراءة لها مباشرة بطرق الكترونية بحيث تظهر مباشرة على شاشة خاصة . ويطلق عليها ( التيودوليتات الرقمية ) ( Digital Theodolite ) .

ويستعمل التيودوليت الحديث في قياس الزوايا في المساحة الجيوديسية وفي أعمال التوقيعات ، وكثير من الأعمال الهامة التى تعتمد على قياس وتوقيع الزوايا .

ويمكن تقسيم التيودوليتات الحديثة من حيث الدقة إلى ثلاث مجموعات :

### ١ — تيودوليتات ذات دقة عالية :

وهى التى تستخدم فى الأرصاد الفلكية وفى رصد زوايا شبكات المثلثات من الدرجة الأولى والثانية .

### ٢ — تيودوليتات دقيقة :

وهى تستخدم فى رصد زوايا شبكات مثلثات الدرجتين الثالثة والرابعة ، وفى الأعمال الهندسية التى تتطلب دقة كبيرة .



### ٣ — تيودوليات متوسطة وعادية الدقة :

وهي التي تستخدم في أعمال الترافرسات في المدن وفي الأعمال التطبيقية في الهندسة المدنية .

#### جدول ( ١ )

أولاً : تيودوليات عالية الدقة .

اسم التيودوليت	صناعة	قطر الحافة (م)		قوة التكبير للمنظار *	الوزن ( كجم )	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية / الرأسية	قراءة الميكرومتر على الدائرة الأفقية / الرأسية
		الأفقية	الرأسية				
T4 Wild	فيلد-سويسرا	٢٤٠	١٣٥	٧٠	٥٠,٠	٢	٠,٢٠ / ٠,١٠
DKM3 Kern	كيرن-سويسرا	١٠٠	١٠٠	٤٥	١٢,٢	١٠	٠,٥٠
Microptic 3	اوتيس-انجلترا	٩٨	٧٦	٤٠	٨,٠	١٠	٠,٢٠
Tpr	اسكانيا فيرك — برلين	٢٠٠	١٤٠	٨٠	٣٢,٠	١٠	٠,٥٠
T 3	الاتحاد السوفيتي	١٣٥	٩٠	٤٠	١١,٠	٨ / ٤	٠,٢٠

ثانياً : تيودوليات دقيقة :

T2 Wild	فيلد-سويسرا	٩٠	٧٠	٢٨	٥,٥	٢٠	١
DKM2 Kern	كيرن-سويسرا	٧٥	٧٠	٣٠	٣,٦	١٠	١
Theo 010	زايس يينا — ألمانيا	٨٤	٦٠	٣١	٥,٣	٢٠	١
Th 2	زايس ألمانيا	٩٠	٧٠	٣٠	٥,٥	٢٠	١
FT 2	لينيل — ألمانيا	٩٠	٧٠	٣٠	٦,٥	١٠	١
Te-B1 MOM	موم — المجر	٩١	٦٠	٣٠	٥,٥	٢٠	١
T 2	الاتحاد السوفيتي	٩٠	٦٥	٢٥	٥,٢	٢٠	١
Microptic 2	اوتيس-انجلترا	٩٨	٧٦	٢٨	٦,٣	١٠	١
TG 1 B	إيطاليا	٩٠	٩٠	٢٩	٢,٥	١٠	١
TM 1 A	سوكيشا — اليابان	٩٤	٨٠	٣٠	٦,٠	١٠	١



تابع جدول ( ١ )

ثالثاً : تيودوليات متوسطة الدقة :

اسم التيودوليت	صناعة	قطر الحافة (م)		قوة التكبير للمنظار *	الوزن ( كجم )	أصغر قراءة على الدائرة الأفقية	قراءة الميكرومتر
		الأفقية	الرأسية				
DKM-1 Kern	كيرن سويسرا	٥٠	٥٠	٢٠	١,٨	٢٠	١٠
K1-RA Kern	كيرن سويسرا	٨٩	٧٠	٢٨	٤,٢	٥١	٢٠
T1-A Wild	فيلد سويسرا	٧٣	٦٥	٢٧	٥,٠	٥١	٢٠
Th 3	زايس ألمانيا	٧٨	٧٠	٢٥	٣,٥	٥١	٣٠
Tt	اسكانيا فيركا برلين	٩٠	٧٠	٣٠	٤,٦	٥١	٢٠
Te-E6 MOM	موم — المجر	٨٠	٤٠	٢٠	٢,٦	٢٠	١٠
TT4	الاتحاد السوفيتي	٧٠	٥٥	٢٥	٣,٩	٢٠	١٠
Microptic 1	أوتيس — إنجلترا	٨٩	٦٤	٢٥	٤,٥		٢٠
41994	إيطاليا	٩٠	٩٠	٣٠	٤,٧		٣٠
TM6	سوكيشا — اليابان	٨٠	٧٠	٣٠	٥,٣		١٠
TM 10	سوكيشا اليابان	٨٠	٧٠	٣٠	٥,٢	١٠	١٠
TM 20	سوكيشا اليابان	٨٠	٧٠	٣٠	٥,٠٠		٢٠
T-205	فوجي — اليابان	٨٠	٧٠	٢٨	٤,٥	٥١	١٠

رابعاً : تيودوليات عادية الدقة :

Theo 020	زايس فينا ألمانيا	٩٦	٧٤	٢٥	٤,٣	٥١	١
T 5	الاتحاد السوفيتي	٩٥	٧٠	٢٧	٣,٦	٥١	١
Te-D2	موم — المجر	٨٤	٧٦	٢٥	٤,٨	٥١	١
T 16	فيلد — سويسرا	٧٩	٧٩	٢٨	٤,٧	٥١	١
Th 4	اوبتون — ألمانيا	٩٨	٨٥	٣٠	٤,٣	٥١	١
4150-NE	إيطاليا	٩٠	٧٠	٣٠	٤,٩	٥١	١
T 60 D	سوكيشا اليابان	٩٥	٩٠	٣٠	٥,٢	٥١	١
Theo 120	زايس فينا — ألمانيا	٦٢	٦٢	١٦	٣,٤		١٠



وفي الوقت الحاضر توجد أنواع عديدة من التيودوليتات الحديثة من إنتاج دول عديدة . وفي الجدول رقم (١) مبين به أهم الأنواع والخصائص المختلفة للتيودوليتات الشائعة الاستعمال للمجموعات الثلاث في الدقة .

وواضح من الجدول أن التيودوليتات عالية الدقة تتميز بما يلي .

١ — وجود منظار ذو قوة تكبير عالية حتى يمكن رصد الأهداف البعيدة بدقة .

٢ — قطر كل من الحافة الأفقية والرأسية كبير حتى يسهل تدريجه إلى عدد أكبر من الأقسام وبالدقة المطلوبة .

٣ — وزن هذه الأجهزة أثقل حتى تكون أكثر ثباتاً أثناء الرصد .

### مزايا التيودوليت الحديث

أدخلت تعديلات كثيرة الغرض منها تبسيط عملية الرصد وسرعة أخذ القراءات وزيادة دقة الأجهزة مع سهولة إستعمالها . وأهم مزايا التيودوليت الحديث هي :

١ — الأجهزة الحديثة بوجه عام أجزائها المختلفة غير واضحة التمييز من خارج الجهاز ، أى مندمج في بعضه ، وهذا يعطيه درجة عالية من الثبات ويجعله أصغر حجماً وأخف وزناً وأكثر إحكاماً ضد الأتربة والرطوبة والمؤثرات الخارجية .

٢ — عدسات التيودوليت الحديث ( الشيئية والعينية والأضافية ) مركبة من مجموعة من العدسات تؤدي مع بعضها عمل العدسة المفردة ولكن ليس لها عيوبها .

٣ — تصنع عدسات التيودوليت الحديث من مواد مختلفة من مركبات الزجاج بحيث لا تعترض الأشعة الضوئية أو تشتتها أو تغير إتجاه مسارها المار



بالمركز البصرى للعدسة ، كما تغطى أغلب هذه العدسات بمواد كيميائية خاصة تمنع انعكاس الضوء الساقط على سطحها أو تشتيته داخلها .

٤ — جعلت الشيئية كبيرة ومتسعة والمنظار طوله قصير وبذا يستطيع المنظار استقبال أكبر نسبة من الضوء الخارجى وتزيد سعة مجال الرؤية للمنظار بالنسبة لهذه المناظير . هذا فضلاً على زيادة قوة التكبير لها .

٥ — الأضواء موزعة فيه بالتساوى وبوضوح تام فى مجال رؤية الميكرومترات والأضواء للرصد الليلي أحسن كثيراً .

٦ — تصنع الدوائر الأفقية من الزجاج بدلاً من المعدن ، حيث يمكن عمل أقسام دقيقة جداً وبعد تكبيرها بالمقدار المناسب تسهل رؤيتها والقياس عليها بدقة ، وبذا فإننا فى الأجهزة الحديثة لانتجاجة إلى زيادة قطر الدائرة الأفقية بل المتبع هو تقسيم الدائرة إلى مقياس صغير مطلوب . كما أن الزجاج أقل تأثراً بتغيرات درجات الحرارة إلا أن لها عيب تراكم الطحالب عليها فى المناطق الأستوائية الحارة فضلاً عن وجوب العناية التامة بها .

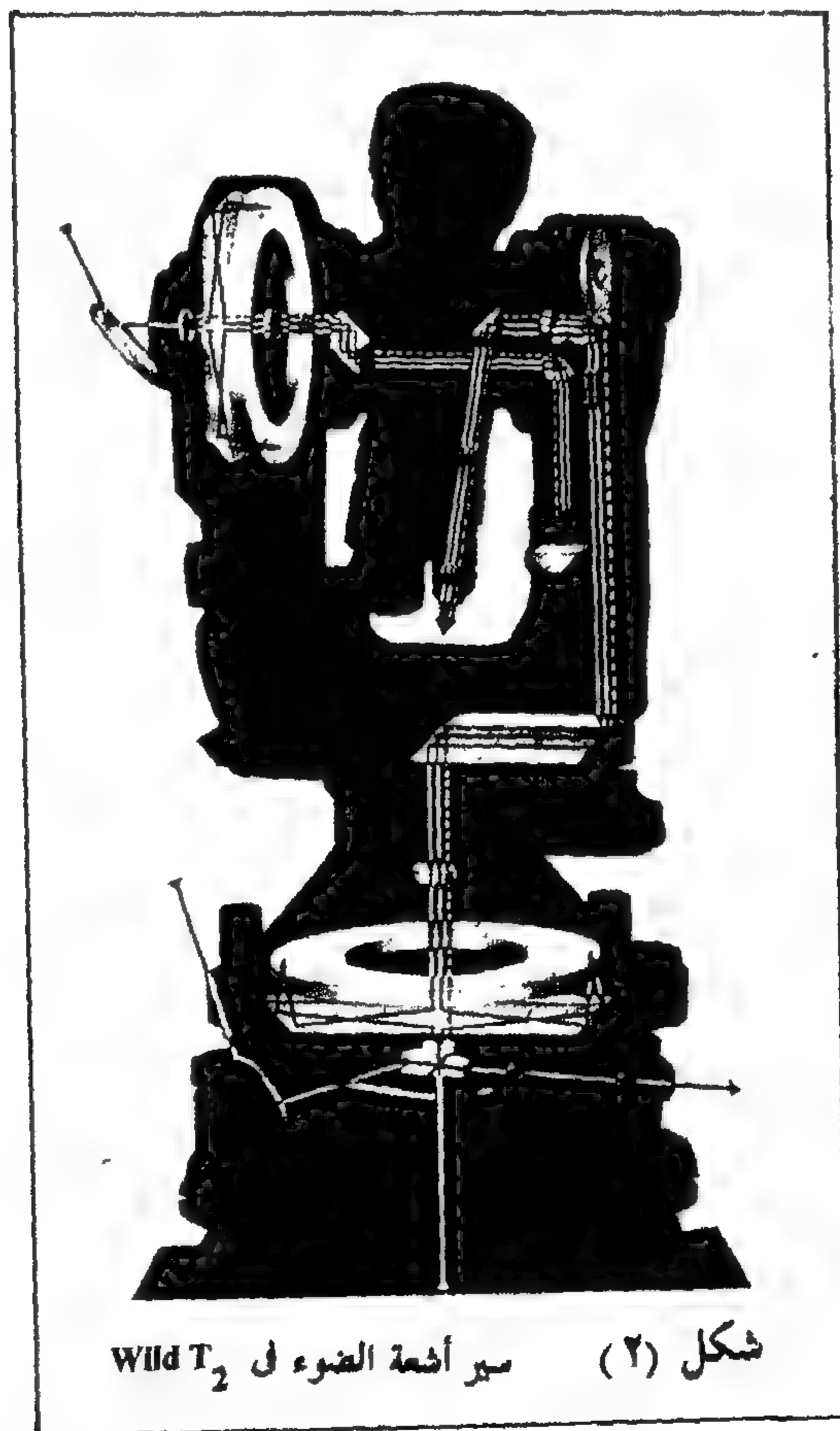
٧ — تنتقل صور القراءات فى التيودوليت الحديث من طرفى كل من الدائرتين الأفقية والرأسية إلى منظار صغير مجاور وموازى للمنظار الرئيسى للتيودوليت وذلك بواسطة مجموعة من المنشورات الزجاجية مختلفة الشكل والحجم ، وموضوعة فى أماكن مناسبة بداخل الجهاز . وفى التيودوليتات الرقمية تنقل صور القراءات الكترونياً إلى شاشة مثبتة على الدائرة الأفقية وأحياناً إلى شاشتين فى جهتين متضادتين .

وبذا فإن الراصد يستطيع أن يشرف على جميع الأجزاء التى يحتاج إليها فى الجهاز سواء من مسامير الحركة أو موازين التسوية وكذلك أخذ القراءات من الدائرتين الأفقية والرأسية ورصد الأهداف بدون أن يتحرك من موضعه حول الجهاز كما هو الحال فى التيودوليت العادى .



٨ — فى التيودوليت الحديث نقرأ مباشرة المتوسط الحسائى آليا لقراءتى طرفى الدائرة الأفقية أو الرأسية بطريقة ضوئية عن طريقة الصور نفسها ، وبذا يتلاشى خطأ التركز فى الجهاز وشكل (٢) يوضح مسار الأشعة داخل أحد أجهزة التيودوليت الحديث طراز ( Wild T<sub>2</sub> ) لتعيين قراءة الدائرتين الأفقية والرأسية مباشرة .

٩ — تزود معظم الأجهزة الحديثة بمنظار خاص عند القاعدة شكل (٢) لضبط التسامت بصرياً ( بدون استعمال خيط ووثقل الشاغول ) مما يقلل من خطأ التسامت .





١٠ — أدخلت تحسينات في تقسيم حامل الشعرات بحيث أصبح صالحاً للرصد على جميع أنواع الأهداف سواء أكانت نقط صغيرة محدودة أم أجساماً كبيرة غير محددة .

١١ — في بعض التيودوليتات الحديثة أستغنى كلية عن ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية ، ووضع بدلاً منه ترتيب آخر للضبط الذاتي بحيث يمكن أخذ قراءات الزاوية الرأسية الصحيحة من هذه الدائرة مباشرة ، وفي قدرة هذا الجهاز تصحيح الميل البسيط . أما إذا كان الميل كبيراً فإن قراءة الدائرة الرأسية تختفى ولا تظهر في المنظار الخاص بها ، وبذلك يعرف الراصد أن الميل كبير ويجب تصحيحه من ميزان تسوية الدائرة الأفقية . وهذا النوع من الأجهزة يسمى ( ذو الضبط الذاتي ) للدائرة الرأسية وجهاز ( Theo 020 ) صناعة زايس وكذلك جهاز ( DKM2A ) صناعة كيرن يتبع هذا النظام .



## قياس الزوايا بالتيودوليت الحديث

### أولاً : احتياطات القياس

#### ١ - ثبات واستقرار الجهاز :

لضمان ثبات واستقرار الجهاز عند الرصد لزوايا شبكات المثلثات يجب أن يعمل الجهاز على دعامة ثابتة ، وفي حالة الأرصاد الدقيقة إذا أردنا الحصول على نتائج جيدة يجب أن يحاط الجهاز بخيمة أو ما شابه لحماية الجهاز من الرياح وأشعة الشمس التي تسبب تمدداً غير متساوى في أجزاء الجهاز .

#### ٢ - الظروف المناسبة للرصد :

هذه الظروف يجب مراعاتها في الأرصاد الدقيقة كشبكات المثلثات فيجب أن تؤخذ الأرصاد تحت ظروف جيدة لتلافي تأثير الانكسار الجوى غير المنتظم التي يعتبر مصدر كبير للأخطاء المنتظمة خاصة في الأحوال التي تمر فيها الأشعة قريباً من سطح الأرض وجدران المنشآت والمباني وعبر المناطق الصناعية ، ومن الظروف الجيدة للرصد على الشواخص أو الأبراج العالية أن يكون الرصد في الأيام الكثيفة الغيوم أو بعد الظهر إذا كان مشمساً ، وأرصاد الزوايا الأفقية التي تجرى على إشارات ليلية تجرى عادة بين غروب الشمس ومنتصف الليل وفيها نحصل على نتائج جيدة لأن الانكسار الأفقى فيها أقل كثيراً مما يحدث نهاراً . والأرصاد التي تجرى في الصباح المبكر يحدث فيها تغير سريع نتيجة للانكسار غير المنتظم .

#### ٣ - رصد الزوايا :

يراعى لضمان التقليل من الأخطاء الطبيعية والآلية عند رصد الزوايا ما يلى :

١ - يؤخذ نصف الأرصاد لكل زاوية والمنظار متيامن والنصف الآخر والمنظار متياسر .



ب — نصف الأرصاد يؤخذ من اليمين إلى اليسار ونصفها الآخر بالعكس .

ح — الإكثار من الأرصاد بالرصد على عدة أقواس .

د — عند إتمام الضبط المؤقت للتيودوليت الحديث المزود بمنظار تسامت

يجب مراعاة ضبط أفقية الجهاز قبل إجراء التسامت وذلك لوجوب رأسية شعاع التسامت .

### ثانياً — طرق قراءة الزوايا

وتوجد عدة طرق للقراءة على الدائرة الأفقية والرأسية بالتيودوليت الحديث حيث تعتمد على إيجاد صورتى تدريجين متقابلين على قطر واحد خلال منظار صغير ثم تعيين المتوسط للقراءتين آلياً ، وفي بعض الأجهزة يظهر جانب واحد فقط من الدائرة ، وفيما سنبينه من الطرق توجد تغيرات طفيفة بين بعضها ، كما أنه في بعض الأجهزة نرى إحدى الدائرتين فقط ولتكن الأفقية مثلاً ، فإذا أردنا رؤية الدائرة الرأسية يجب أن ندير طارة خاصة أو مسمار خاص فتختفى رؤية الدائرة الأفقية وتظهر الدائرة الرأسية .

#### الطريقة الأولى — طريقة وايلد :

إن أشعة الضوء الخارجى تدخل عن طريق فتحة صغيرة تدور أمامها مرآة حول مفصل ثابت ويمكن إدارتها باليد بحيث تصبح فى وضع يسمح بدخول أكبر مقدار من الضوء إلى الجهاز شكل (٢) لإضاءة كل من الدائرة الأفقية والرأسية .

وقد صمم الجهاز بحيث أن الشعاع الضوئى يصل إلى نقطتين على محيط هذه الدائرة وتقعاً على طرفى قطر من أقطارها ، أى أن الشعاع الضوئى بعد إنعكاسه على سطح هذه الدائرة يحمل معه قراءتين الفرق بينهما ١٨٠° .

بعد ذلك توجه هذه الحزمة الضوئية بواسطة منشورات أخرى خاصة حتى تصل إلى منظار صغير بجوار المنظار الرئيسى للجهاز . وأثناء سير هذه الأشعة



تمر بالميكرومتر . وفي هذا الميكرومتر توجد قطعتان من الزجاج على شكل متوازي المستطيلات ، وعند مرور الحزمة الضوئية بجهاز الميكرومتر تمر القراءة التي تمثل أحد الطرفين من إحدى الزجاجتين بينما تمر القراءة الأخرى التي تمثل الورنية الثانية على الطرف الآخر من الزجاجة الأخرى فإذا أدركنا مسمار جهاز الميكرومتر الموجود خارج جهاز التيودوليت فإن صورة القراءة المأخوذة من طرف الدائرة الأيمن تسير إلى جهة اليمين بينما صورة القراءة المأخوذة من الطرف الأيسر تسير إلى اليسار بمقدار متساو في كل منهما .

وعند إدارة مسمار الميكرومتر تنطبق الخطوط الرأسية لقراءات الدائرة في الصورتين مع بعضهما ، أى أن كلا من الصورتين قد انتقلت بمقدار يساوى متوسط المسافة بين القراءتين .

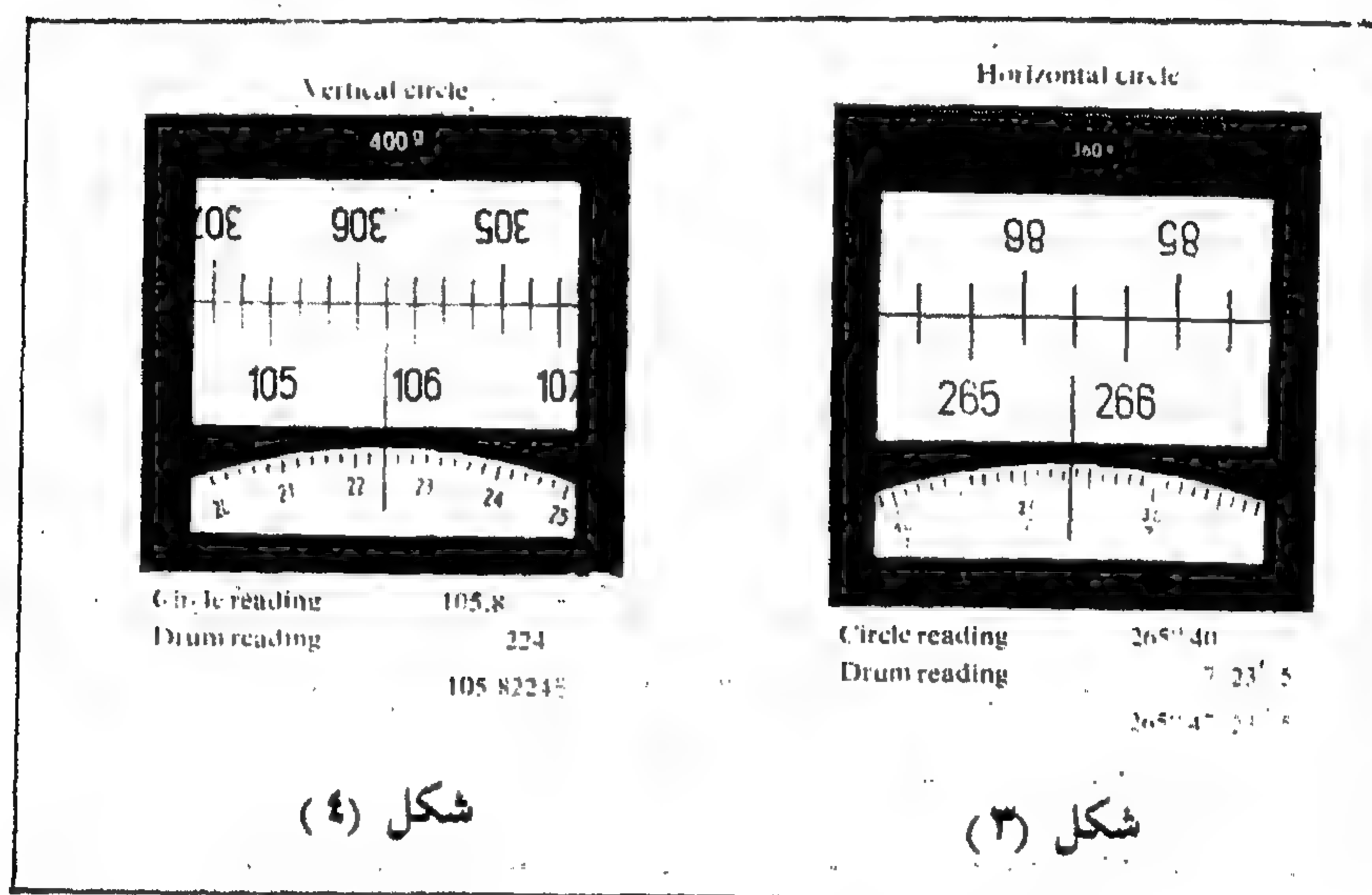
هذا المقدار المتوسط أو القراءة النهائية تظهر بعد تطابق الخطوط الرأسية لقراءات أقسام الدائرة مع بعضها ، وذلك خلال المنظار الجانبي الموازى للمنظار الرئيسى .

يرى الراصد مجموعتين من الأرقام إحداها معدولة والأخرى مقلوبة ، وتختلف المجموعتان في الدائرة الأفقية بمقدار  $0.180^\circ$  وطريقة القراءة أننا نبحث عن رقم معدول له رقم مقلوب يختلف عنه بمقدار  $0.180^\circ$  ويقع إلى اليمين منه فتدار طارة الميكرومتر حتى ينطبق القسم المعدول على القسم المقلوب المقابل له ، ومقدار دوران الميكرومتر نراه من المنظار الصغير . ودقة الميكرومتر تتوقف على نوع الجهاز ويجب ملاحظة أن القراءة قبل عمل الانطباق لا معنى لها ، بل يجب إجراء الانطباق أولاً ثم القراءة وشكل ( ٣ ) يبين قراءة الدائرة الأفقية لتيودوليت Wild T 2  $0.360^\circ$  حيث نجد أن بعد الانطباق تكون القراءة المعدولة التي لها مقابل فرقه  $0.180^\circ$  وعلى اليمين هي  $0.265^\circ$  وبين الأثنين أربع أقسام كل منها نعتبره في الحساب نصف قيمته أى  $0.1^\circ$  . أما قراءة الميكرومتر فهي كما يلي : الرقم المكرر كتابته هو عدد الدقائق الواجب اضافتها (  $7'$  ) والتدريج يعطى الثوالى ، وهذا فإن :



$$0^{\circ}26'47''23,0 = ''23,0 + '.7 + 0^{\circ}26'40 = \text{القراءة}$$

وشكل ( ٤ ) يبين مثال آخر لقراءة الدائرة الرأسية لنفس النوع من التيودوليت ولكن بالتقسيم الجديد ( ٤٠٠ g ) حيث طارة الميكرومتر يختلف تقسيمها عن النظام الستيني .

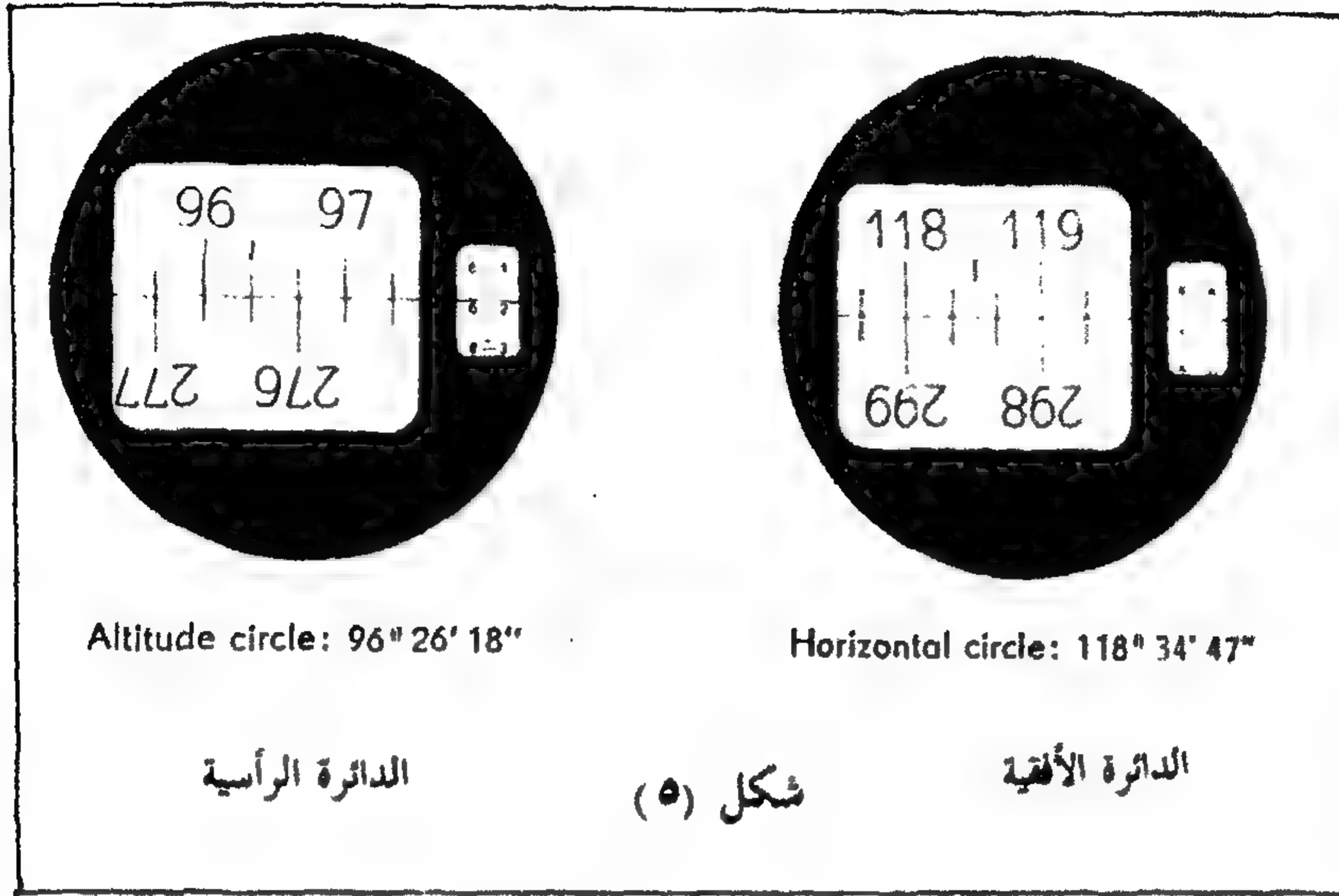


وشكل ( ٥ ) يبين مثلاً آخر لجهاز ( Theo 2 ) من صنع VEB بألمانيا والذي يتبع نفس النظام حيث كانت قراءة الدائرة الرأسية هي ١٨ " ٢٦ ' ٥٩٦ وقراءة الدائرة الأفقية بعد التطبيق ٤٧ " ٣٤ ' ٥١١٨ ( أصغر قسم صحيح على الميكرومتر ٢ " ) ويلاحظ أنه لقراءة الدائرة الرأسية نحتاج إلى إدارة مسمار خاص فتختفى صورة الدائرة الأفقية وتظهر بدلاً منها صورة الرأسية .

**الطريقة الثانية : طريقة زايس**

وهذه الطريقة كالسابقة تماماً والتدريج على الحافة مزدوج ( أى أن خطوط التقسيم على الدائرة عبارة عن خطين متوازيين بدلاً من خط واحد ) والتدريج الحقيقى هو الخط الوهمى المتوسط بين كل خطين . والغرض من هذين الخطين



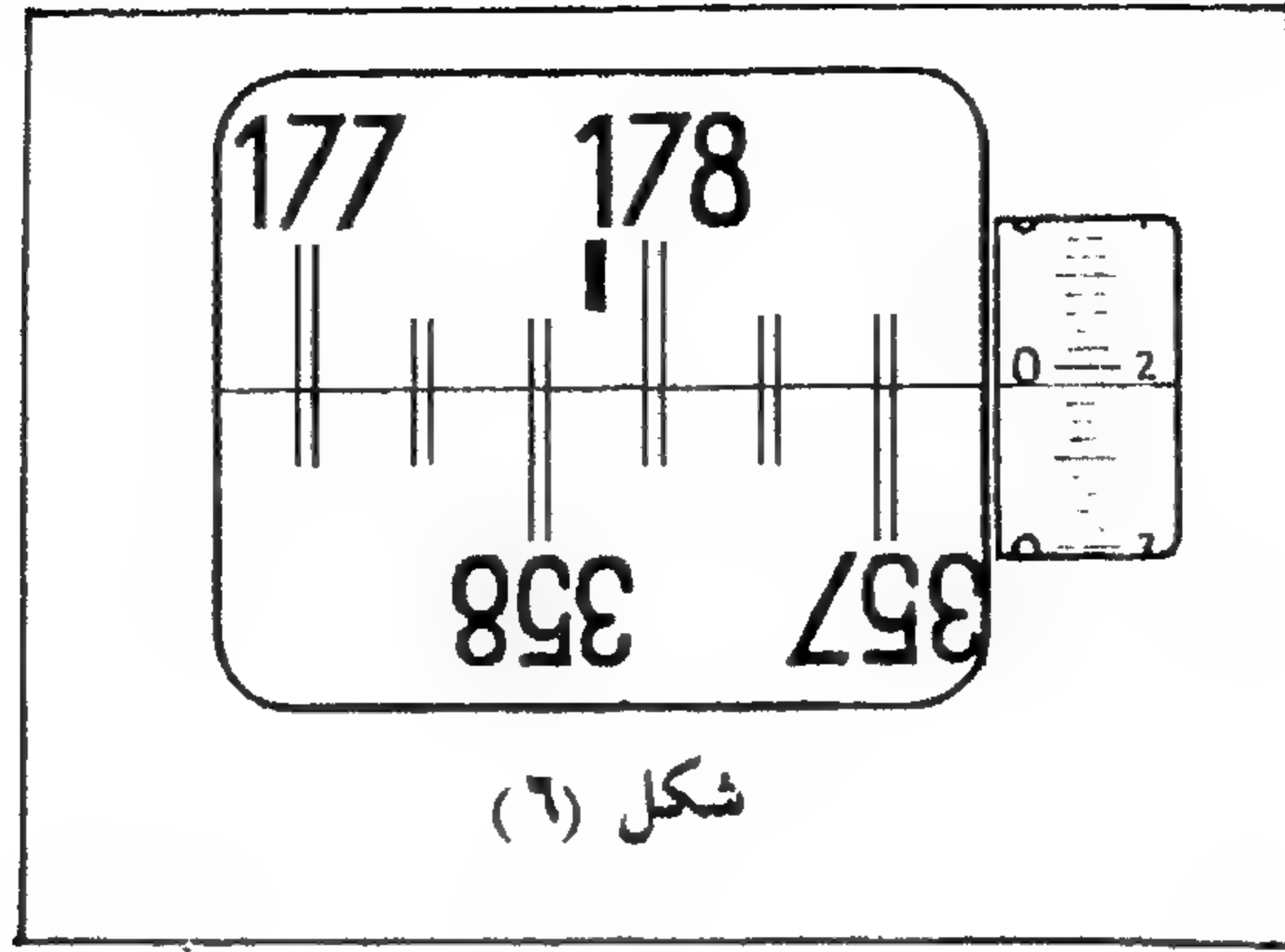


المتوازيين هو إمكان الحصول على دقة أكبر عند تطابق الصورتين مع بعضهما البعض . وفي شكل ( ٦ ) إلى اليمين صورة أقسام الميكرومتر والدائرة مقسمة إلى درجات ، ٢٠ دقيقة . ولما كان متوسط القراءتين المطلوب على أساس إزاحة كل من الصورتين بمقدار نصف المسافة بين خطوط التقسيم الرأسية حتى يتم الإنطباق المطلوب ، فإن مقدار حركة كل من الصورتين على حدة ، يساوي نصف المسافة بين خطوط التقسيم ، أي يساوي ١٠ ' فقط وبذا نجد أن القراءة على المقياس تعطينا الدرجات وعشرات الدقائق ، أما الدقائق والثواني فبواسطة الميكرومتر شكل ( ٦ ) ( جهاز Theo 010 زايس Jena ) والقراءة هي ١٧٧° ٥٠ ' على المقياس ، ٢١,٠ " ٠٠ ' على الميكرومتر وبذا تكون القراءة على الدائرة الأفقية ٢١,٠ " ٥٠ ' ١٧٧° .

### الطريقة الثالثة — طريقة كيرن

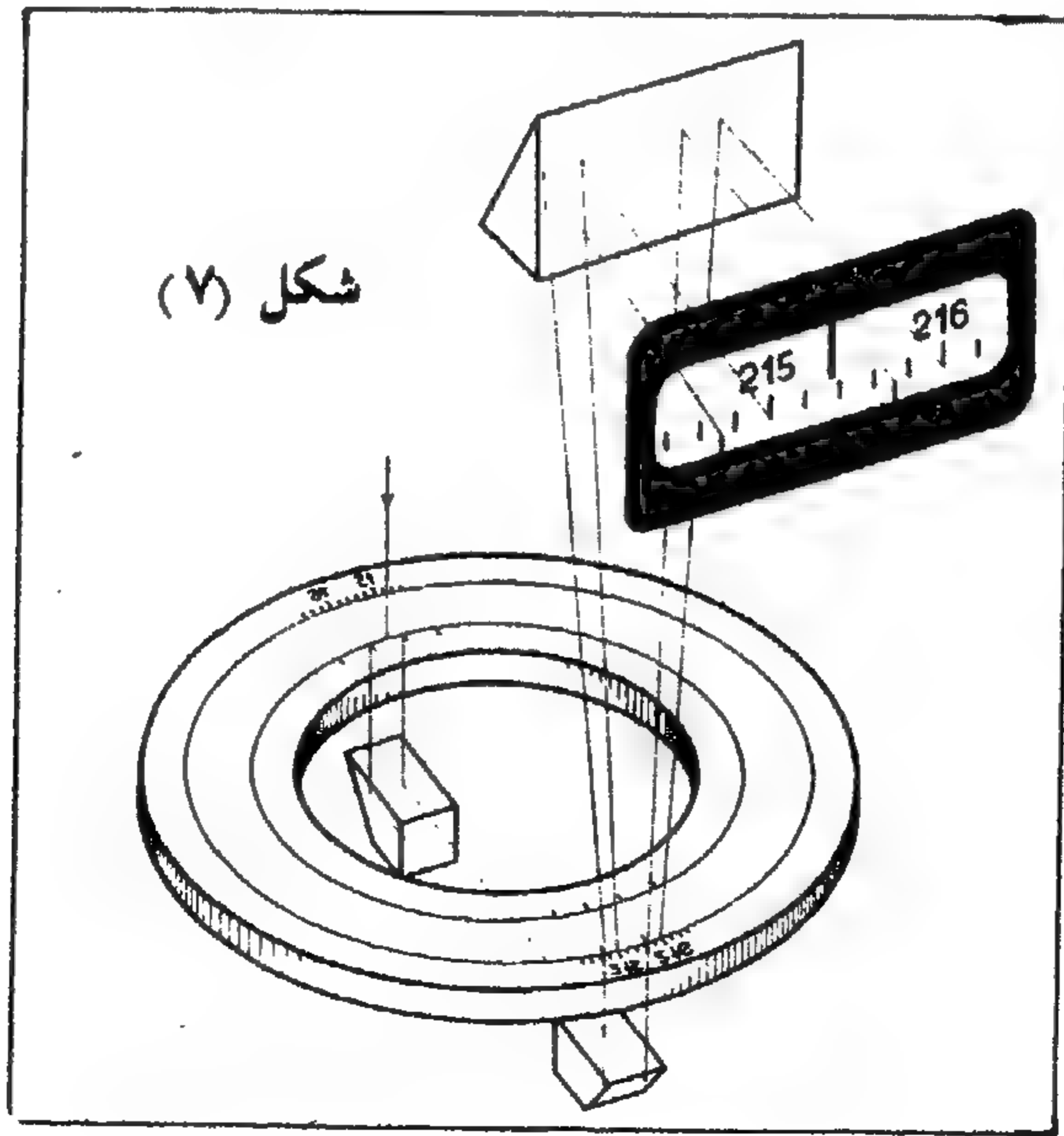
هناك طريقتان للقراءة في هذا النوع من الأجهزة لأخذ قراءات الزوايا الأفقية والرأسية . تتبع إحداها في ثيودوليتات القياس المتوسطة الدقة والأجهزة التاكيومترية ، والثانية في الأجهزة الدقيقة وعالية الدقة ، وتعرف هذه الأجهزة بذات الدوائر المزدوجة ( Double Circle Theodolites ) .





أولاً - الأجهزة المتوسطة الدقة ( بدون ميكرومتر ضوئي ) :

القرص الزجاجي مرسوم عليه دائرتان متحدتان في المركز ومختلفتان في نصف القطر ولذلك سميت « ذات الدوائر المزدوجة » الخارجية منها مقسمة تقسيماً كاملاً ، أى إلى درجات وأجزائها بينما الداخلية مقسمة إلى درجات صحيحة فقط شكل ( ٧ ) . ويظهر في المنظار الصغير صورة طرفي القرص





الزجاجى على إمتداد أى قطر فيه وبحيث يظهر عند أحد طرفى هذا القطر المقياس الخارجى بينما يظهر عند الطرف الثانى لهذا القطر دائرة المقياس الداخلى ، وبذا تكون القراءة المحصورة هى متوسط هاتين القراءتين . وقد استغنى عن جهاز الميكرومتر الضوئى فى هذا النوع من الأجهزة .

وبعض الشركات تتبع فى تعيين قراءة الأجهزة المتوسطة الدقة طريقة بسيطة تتناسب مع بساطة القراءات المطلوب تعيينها ، وتبدو صورة هذه القراءات كما يراها الراصد من المنظار الخاص بهذه القراءات . وفى هذه الحالة لا يوجد جهاز الميكرومتر ونستعيز عنه بما يشبه الورنية لقراءة أجزاء الدرجات بدقة دقيقة واحدة وأجزاء الدقيقة بالتقدير وغالباً ما يظهر فى الصورة قراءتا الدائرتين الأفقية والرأسية معاً ، وتكون القراءة فى هذه الحالة من طرف واحد فقط من الدائرة .

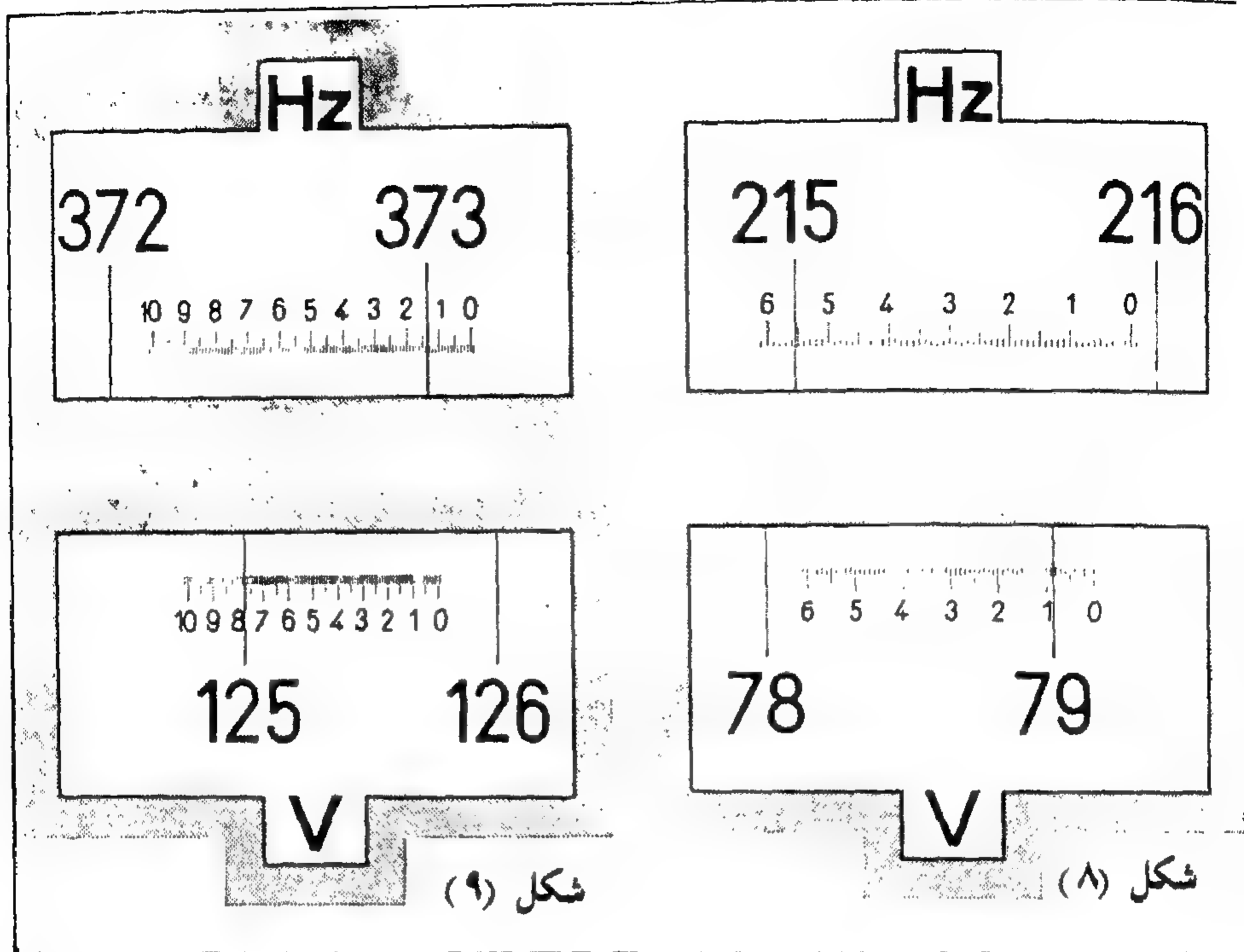
ومثال للأجهزة التى تتبع هذه الطريقة جهاز زايس ( Theo 020 ) شكل ( ٨ ) وقراءة الدائرة الأفقية للجهاز  $55,4' 0215$  والرأسية  $0,8' 079$  وشكل ( ٩ ) يبين مثلاً آخر لتيودوليت مقسم بالنظام الجديد والقراءة الأفقية  $373,133 g$  والرأسية  $125,775 g$  .

### ثانياً — للأجهزة الدقيقة :

أما فى الأجهزة الدقيقة فأساسها أيضاً استعمال الدوائر المزدوجة ذات المركز الواحد ، ولكن الفرق بينها وبين الحالة السابقة هى أن صورة الأقسام تظهر للراصد إلى جوار بعضها البعض ( أى كخطوط مزدوجة ) ولكن كل منها من مقياس غير الآخر ، أى أن هذين الخطين يكون كل منهما طرفاً لقطر الدائرة والمسافة بينهما  $180^\circ$  على هذه الدائرة .

ولأخذ القراءة يحرك الميكرومتر البصرى علامة ذات خط مفرد كما فى شكل ( ١٠ ) أو ذات خط مزدوج كما فى شكل ( ١٢ ) .



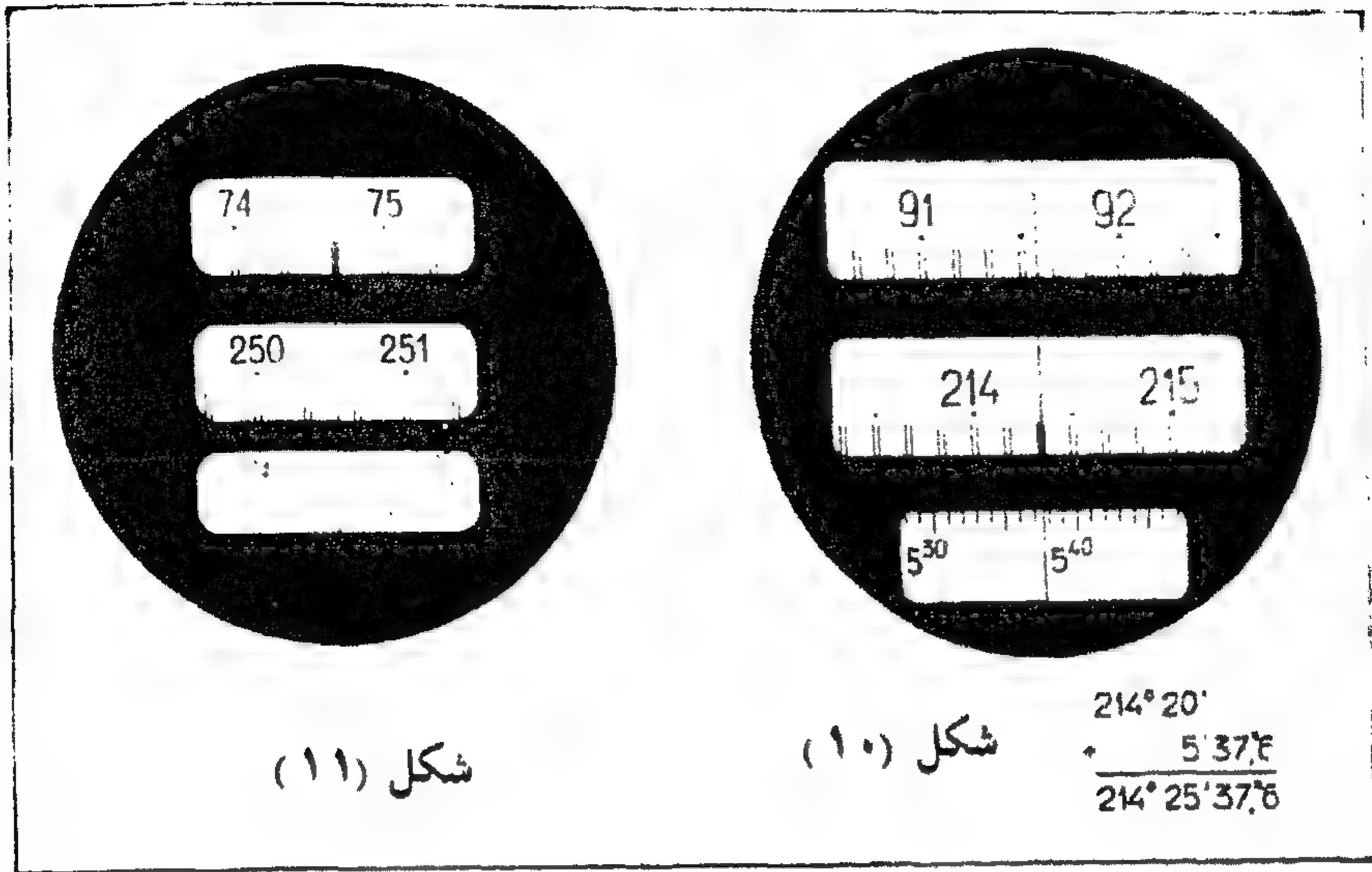


تحرك علامة الصفر ( حالة العلامة المفردة ) حتى تنصف المسافة بين أقرب خط مزدوج بإدارة طارة الميكرومتر ، وبذا نحصل آليا على متوسط القراءتين الموجودتين على قطر واحد في الدائرة ، أما طارة الميكرومتر فيبين عليها قراءة الميكرومتر وفي شكل ( ١٠ ) القراءة على الدائرة الأفقية هي :

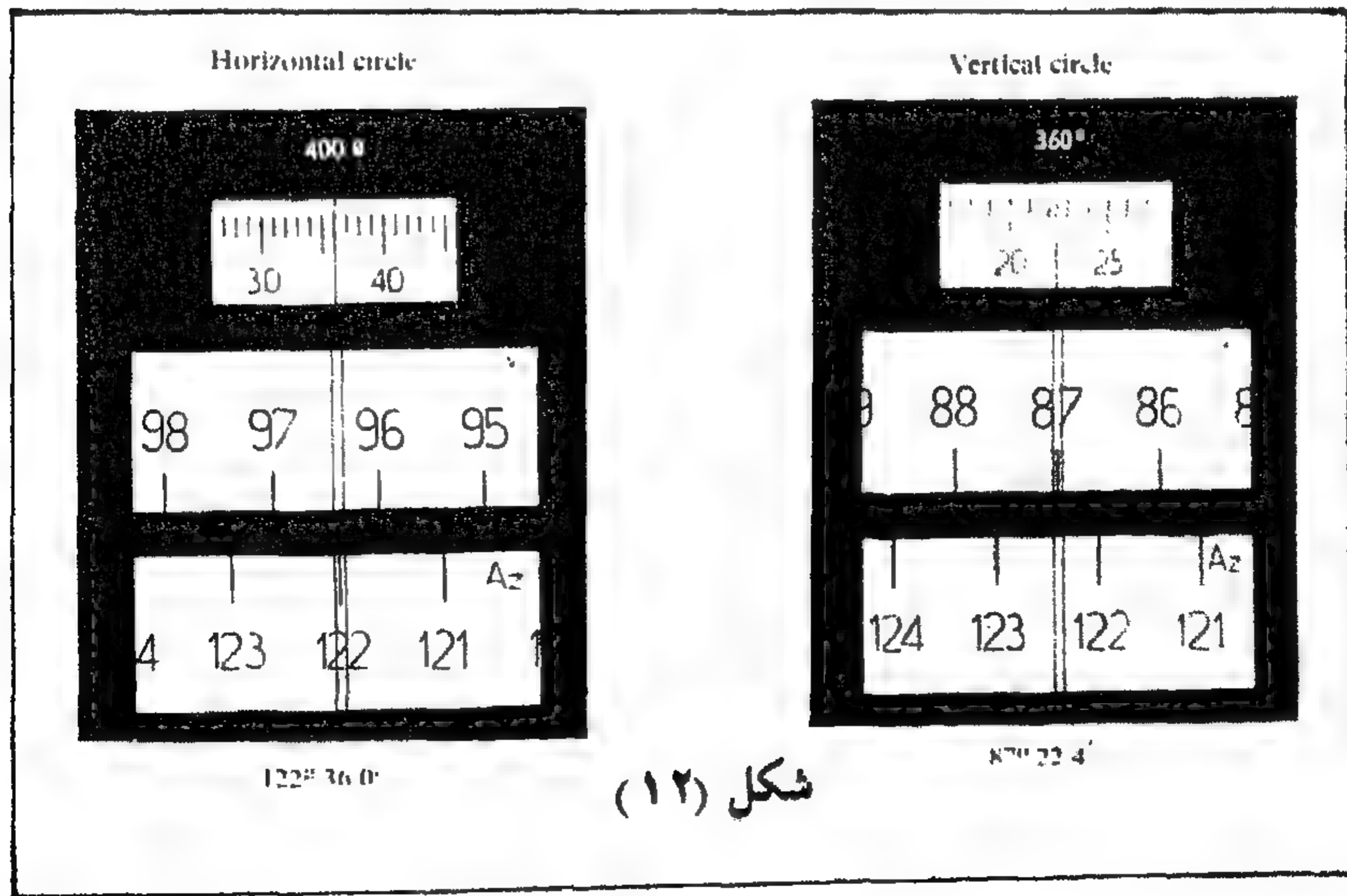
$$٠٢١٤ ' ٢٥ '' ٣٧,٦ = ' ٥ '' ٣٧,٦ + ٠٢١٤ ' ٢٠$$

والقراءة على الدائرة الرأسية بنفس طريقة الدائرة الأفقية ، أي ندير طارة الميكرومتر حتى تنصف علامة الصفر أقرب علامة مزدوجة يمكن الوصول إليها حسب ما تسمح به طارة الميكرومتر سواء الخطان السابقان أو اللاحقان بالنسبة لعلامة الصفر . وفي شكل ( ١١ ) مبين مثال آخر لقراءة الدائرة الرأسية لتيودوليت كيرن ( DKM 1 ) حيث القراءة ٢٥ '' ٥٤ ' ٠٧٤ .





أما إذا كانت علامة الصفر مزدوجة فإننا نجعل علامة الصفر تتحرك بالميكرومتر حتى يمحصر خطاها أحد أقسام التدرج ، ففي شكل ( ١٢ ) القراءة على الدائرة الرأسية في تيودوليت Wild T 1 هي ٢٢,٤ ' ٨٧ ° والقراءة على الدائرة الأفقية لنفس النوع من التيودوليت بالنظام الجديد هي ١٢٢,٣٦ ° .





وفي الأشكال من ( ١٣ ) إلى ( ١٦ ) مبين طريقة القراءة المتبعة في بعض الأجهزة الحديثة من التيودوليتات . ففي شكل ( ١٣ ) مبين طريقة القراءة في تيودوليت كيرن على الدقة DKM3 للدائرة الرأسية حيث يتم التطبيق في المجال على شكل الشبه منحرف بواسطة ثلاثة أزواج من العلامات المزدوجة وتأخذ القراءة على الدائرة بواسطة السهم وعلى طارة الميكرومتر ( إلى أسفل ) بواسطة العلامة الرأسية وعلى ذلك تكون القراءة هي :

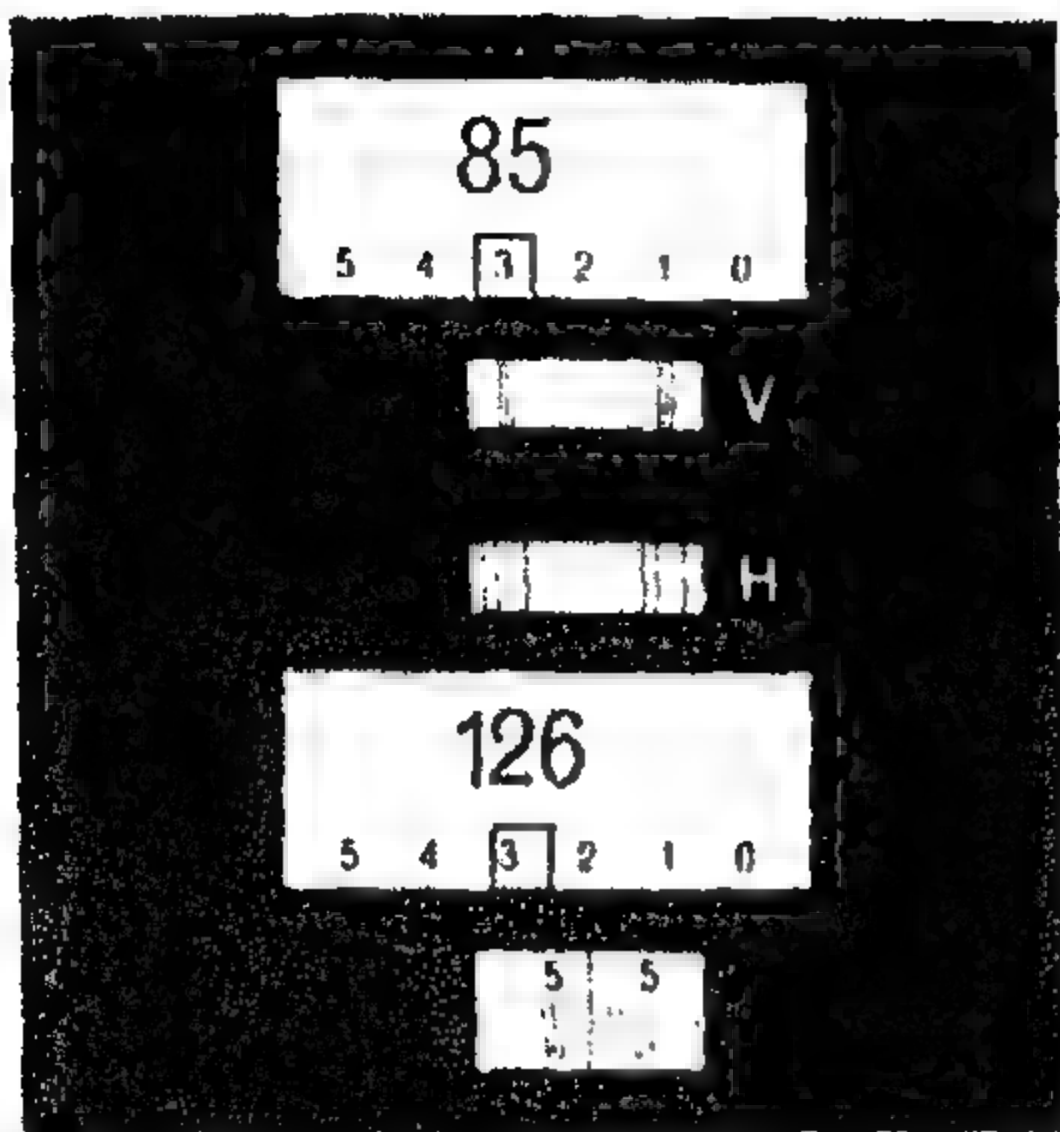
$$. ٥٨٢ ' ٥٠ + ٠,٨ " ٠,٣ = ٠,٨ " ٥٣ ' ٥٨٢ .$$

أما في شكل ( ١٤ ) فمبين طريقة القراءة في تيودوليت كيرن الدقيق DKM2A حيث يظهر في مجال المنظار الخاص بالقراءة مقياس علوى للدائرة الرأسية أسفله شباكين خاصين بالتطبيق لقراءات الدائرة الرأسية وأسفله للدائرة الأفقية ثم مقياس الدائرة الأفقية ثم طارة الميكرومتر . ويعتبر التطبيق تام إذا كانت العلامات في شباك التطبيق ذات مسافات متساوية . وعلى ذلك فواضح أن القراءة تمت للدائرة الرأسية حيث التطبيق في الشباك العلوى والقراءة على الدائرة تأخذ بواسطة المربع الموجود على المقياس ، وبذلك تكون القراءة للدائرة الرأسية هي  $٠,٥ " ١٤ + ٥٨٥ ' ٣٠ = ٠,٥ " ١٤ + ٥٨٥ ' ٣٥$  .

وفي شكل ( ١٥ ) مبين مجال منظار القراءة لتيودوليت سوكيشا الياباني طراز TM20E وذلك بعد إجراء تطبيق الميكرومتر للدائرة الأفقية إبتنصيف إحدى العلامات المزدوجة الدالة على الدرجات بواسطة العلامة الرأسية والقراءة هي  $٤٠ " ٠,٣ ' ٥٢٠,٥$  . أما في الشكل ( ١٦ ) فمبين مجال منظار القراءة لتيودوليت سن راى الياباني طراز T-205A وذلك بعد إجراء التطبيق للدائرة الأفقية بمحصر إحدى العلامات الدالة على عشرات الدقائق بواسطة العلامة المزدوجة ، والقراءة مساوية .

$$. ٥١٢٦ ' ٤٠ + ٠,٦ " ٣٥ = ٠,٦ " ٤٦ ' ٥١٢٦ .$$

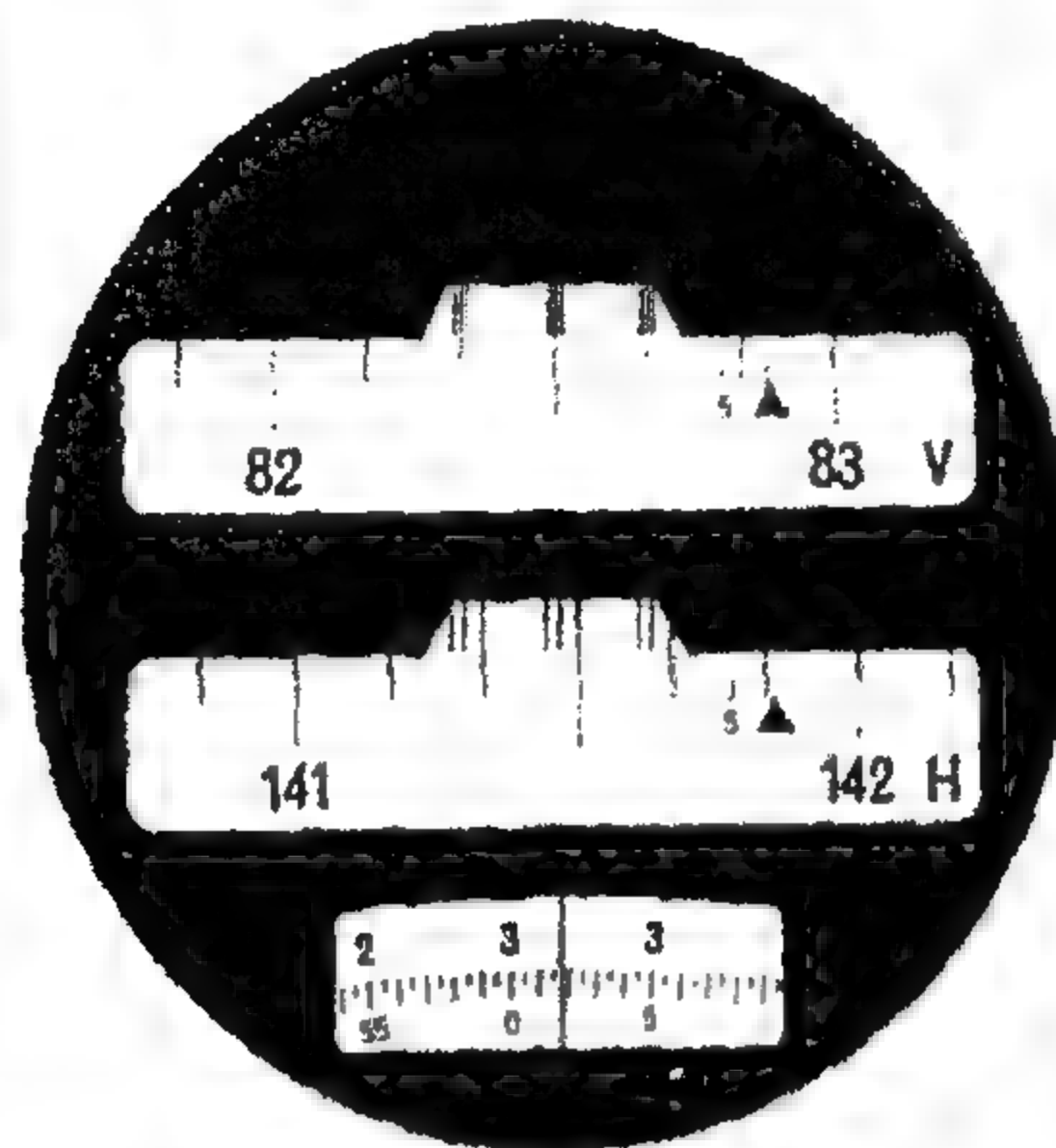




شكل (١٤)

Cercle vertical 360°:  
85° 35' 14"

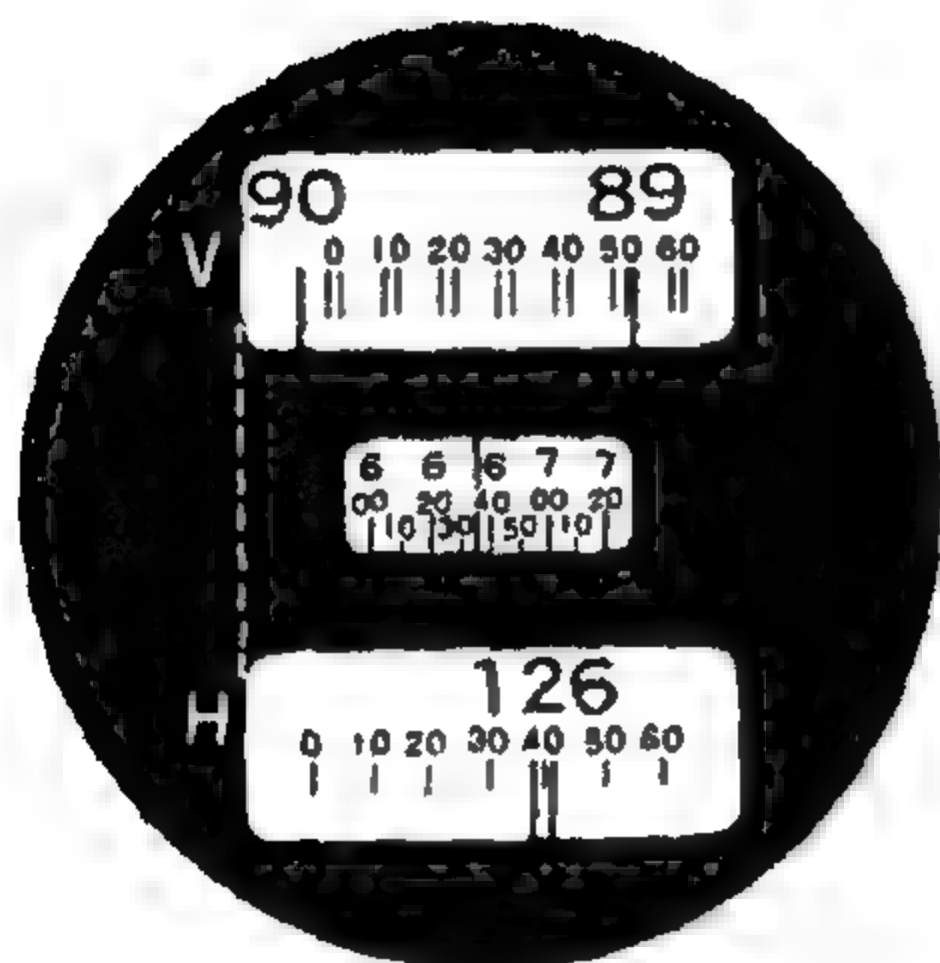
Vertical circle 360°:  
85° 35' 14"



الرأسية

82° 50'  
3' 01.8"  
82° 53' 01.8"

شكل (١٣)



H  
126° 40'  
+ 6' 35"  
126° 46' 35"

شكل (١٦)



شكل (١٥)



## الباب الثاني الطرق الدقيقة لرصد الزوايا الأفقية

عند البحث في طرق رصد الزوايا الأفقية خاصة لشبكات المثلثات نجد أن لكل طريقة ميزاتها وعيوبها . ويتوقف اختيار الطريقة على نوع الشبكة ودرجتها ومقدار الدقة المطلوبة ، وإن كان المطلوب دائماً ينحصر في ثلاث نقاط هي :

١ — زيادة عدد الأرصاد كلما أمكن ، إذ أن زيادة الأرصاد يقربنا إلى القيمة الحقيقية .

٢ — العمل على التغلب على الأخطاء الشخصية والآلية .

٣ — التقليل من التأثير المنتظم للظروف الطبيعية .

ولقد قدمنا في المؤلف الأول الطرق المتبعة لرصد الزوايا الفردية في الأعمال الهندسية وطرق رصد زوايا شبكات الترافرسات ، وفيما يلي الطرق المتبعة لرصد زوايا شبكات المثلثات بدرجاتها المختلفة .

### أولاً — طريقة جاوس — شراير ( Gauss - Schreiber )

وتسمى أحياناً بطريقة كل الاتجاهات . وتحدد هذه الطريقة عدد معادلات الرصد لمجموعة من الزوايا محصورة عند نقطة مثلثات من الدرجة الأولى . وفي هذه الطريقة نحصل على جميع الاحتمالات لرصد الزوايا المحصورة عند نقطة وتستعمل لرصد من أربعة إلى ستة اتجاهات ويجرى الرصد بها كالتالي :

١ — الطريقة تعتمد أساساً على اعتبار أحد هذه الاتجاهات عند هذه النقطة كاتجاه أساسي للرصد وترصد منه الزاوية الأولى منفردة ثم مجموع زاويتين ،



فمجموع ثلاث زوايا وهكذا حتى نصل إلى آخر اتجاه وذلك بدون قفل الأفق .

٢ — نعتبر بعد ذلك الاتجاه الذى يلي الاتجاه الأول كاتجاه أساسى وتكرر عملية القياس لباقي الاتجاهات فإذا فرضنا فى شكل ( ١٧ ) أن الاتجاهات المحصورة عند نقطة ( و ) هى إلى ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، .... ، هـ فإن الزوايا المرصودة تكون هى :

$$\begin{aligned} ١ - ٢ &= ١ ، ٢ - ٣ = ١ ، ٣ - ٤ = ١ ، ٤ - ٥ = ١ ، ..... ٥ - ١ = هـ \\ ٢ - ٣ &= ٢ ، ٣ - ٤ = ٢ ، ٤ - ٥ = ٢ ، ..... ٥ - ٢ = هـ \\ ٣ - ٤ &= ٣ ، ٤ - ٥ = ٣ ، ..... ٥ - ٣ = هـ \\ ٤ - ٥ &= ٤ ، ..... ٥ - ٤ = هـ \\ &..... \\ &هـ - ( ١ - هـ ) \end{aligned}$$

وعموماً إذا كان عدد الاتجاهات ( هـ ) فيكون :

(١) .....

$$\text{عدد الزوايا المطلوبة} = ( ١ - هـ )$$

(٢) .....

$$\text{عدد معادلات الرصد} = \frac{( ١ - هـ ) هـ}{٢}$$

فإذا كان لدينا خمسة اتجاهات فيكون :

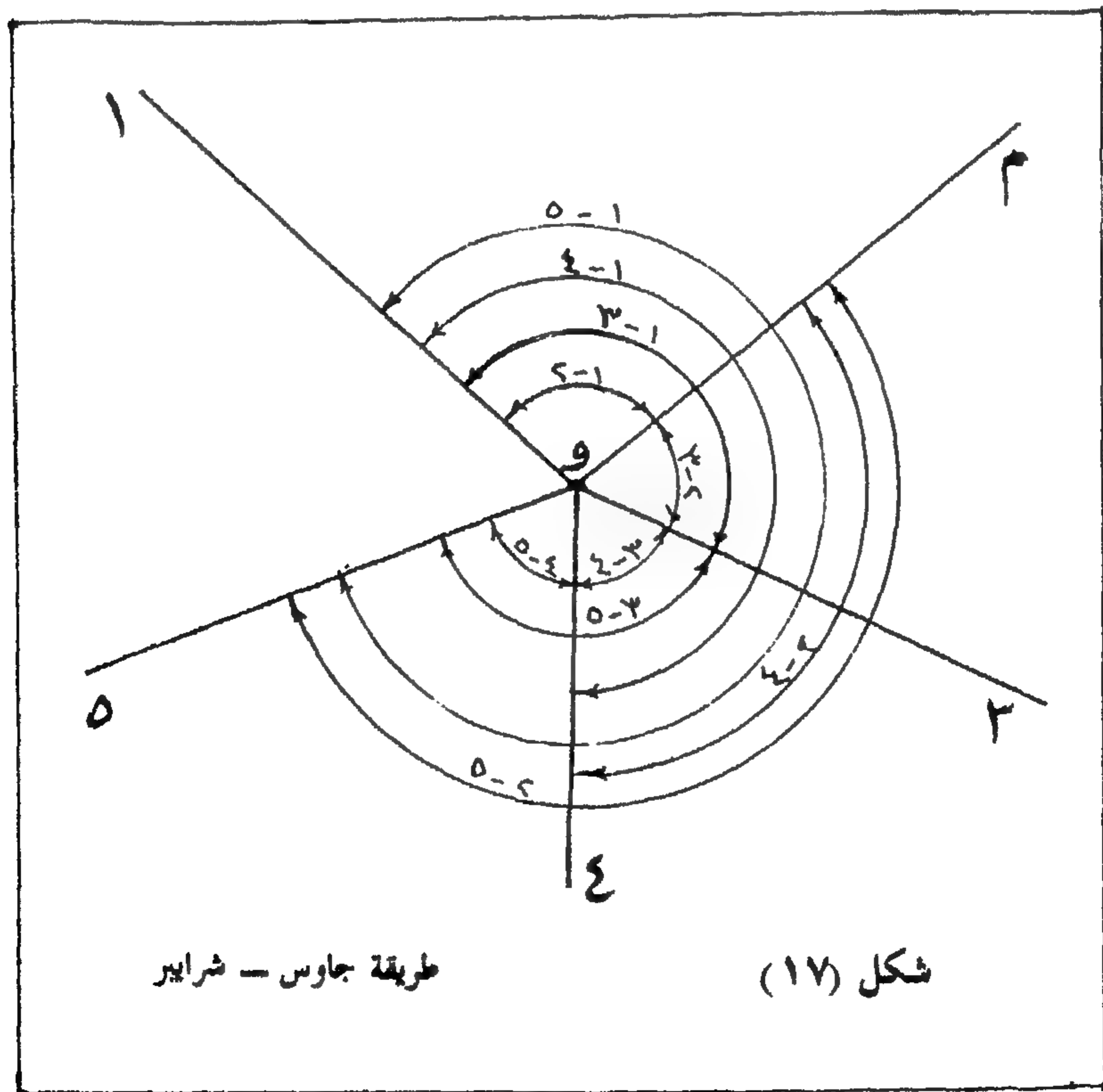
$$\text{عدد معادلات الرصد} = \frac{( ١ - ٥ ) ٥}{٢} = ١٠$$

$$\text{عدد الزوايا المطلوبة} = \text{عدد الجاهيل} = ٥ - ١ = ٤$$



وفي حالة ٦ اتجاهات يزداد عدد معادلات الرصد إلى ١٥ معادلة ويكون عدد الزوايا المطلوبة هو خمسة .

والرصد بهذه الطريقة يؤدي إلى وجود ارتباط بين قيم الزوايا المطلوبة وبعضها فعلى سبيل المثال يجب أن تساوى الزاوية ١ — ٣ مجموع الزاويتين ١ — ٢ ، ٢ — ٣ وهذا النوع من الارتباط يطلق عليه وجود شرط محلي . وعامة تظهر الشروط إذا ما كانت الأرصاد أزيد من الحاجة إليها ، ووجود المعادلات الشرطية يؤدي بدوره إلى ضرورة ضبط الأرصاد وتصحيحها حتى تتحقق هذه الشروط . ويتم ضبط الأرصاد الشرطية باستخدام طرق رياضية خاصة سنتعرض لها فيما بعد . وإذا ما درسنا الشروط الموجودة في حالة الرصد المبينة في شكل ( ١٧ ) نجد أن عددها الكلي هو ستة في حين أن عدد





الشروط يكون واحداً في حالة رصد ثلاثة اتجاهات فقط ويزيد إلى عشرة في حالة رصد ستة اتجاهات ويكون مساوياً ٢٨ في حالة رصد ٩ اتجاهات . وعلى ذلك يوصى دائماً بأن تستخدم الطريقة للرصد لعدد من الاتجاهات لا يزيد عن ستة لأنه إذا ما كانت الاتجاهات أكثر من ذلك يزيد عدد المعادلات الشرطية وتصبح طريقة الضبط للأرصاء أكثر صعوبة . كما يجب أن لا يقل عدد الاتجاهات عن ثلاثة حتى تكون لدينا أرصاء شرطية ( شرط واحد ) .

مميزات هذه الطريقة :

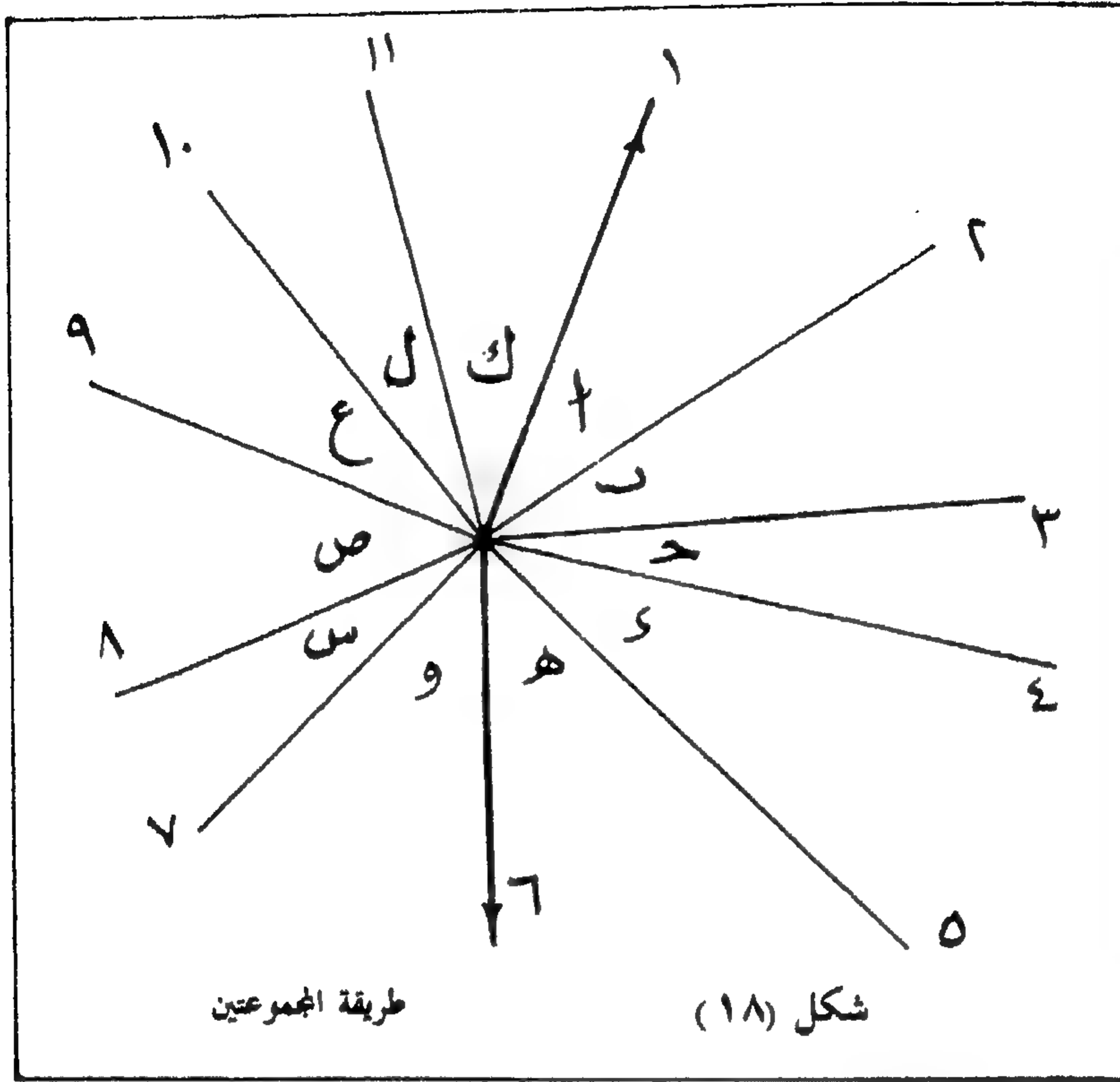
- ١ — استخدام كل الاتجاهات كأوجهات أساسية .
- ٢ — زيادة عدد معادلات الرصد والمعادلات الشرطية إذا كانت الاتجاهات كثيرة نسبياً وهذا مما يقربنا من قيم أكثر احتمالاً للزوايا بعد إجراء عملية التصحيح .
- ٣ — التقليل من الأخطاء الآلية والمنتظمة .

ولما كان زيادة عدد الاتجاهات يشكل صعوبة في إجراء الرصد والضبط فلقد تم إجراء تعديل في أسلوب الرصد بهذه الطريقة إذا ما زاد عدد الاتجاهات عن ستة .

ثانياً — طريقة المجموعتين ( Group method )

نعمل في هذه الطريقة على تقسيم مجموعة الاتجاهات ، إذا زاد عددها عن ٦ اتجاهات ، إلى مجموعتين بإتجاهين يكونا أقرب ما يمكن إلى الشمال والجنوب شكل ( ١٨ ) . وبذلك تكون إحدى المجموعتين إلى الشرق والأخرى إلى الغرب ، وتكون المجموعة التي في إتجاه الشرق معرضة لأشعة الشمس في فترة الصباح أكثر من المجموعة الأخرى وتكون المجموعة الثانية معرضة لأشعة الشمس في فترة بعد الظهر أكثر من المجموعة الأولى . تقاس كل مجموعة على حدة بطريقة كل الاتجاهات ( جاوس ) .





وفي هذه الطريقة نستطيع بأكبر قدر ممكن تلافي الخطأ المنتظم الناشئ عن الانكسار وتأثير الشمس والحرارة وذلك بأخذ أرصاد المجموعة الغربية في الصباح وأرصاد المجموعة الأخرى بعد الظهر . نستطيع بعد ذلك أن نكون معادلات الرصد لكل مجموعة على حدة باستخدام طريقة ( جاوس ) .

ففي شكل ( ١٨ ) نجد أن أصلح اتجاهين للحصول على المجموعتين هما ١ ، ٦ والمجموعتان هما .

المجموعة الأولى : الزوايا ١ ، ب ، ج ، د ، هـ المحصورة بين الاتجاهات ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ .

المجموعة الثانية : الزوايا و ، ز ، ح ، ط ، ي ، ك المحصورة بين الاتجاهات ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ ، ١٠ ، ١١ ، ١ .



بالنسبة للمجموعة الأولى .

$$\text{عدد معادلات الرصد} = \frac{5 \times 6}{2} = 15$$

بالنسبة للمجموعة الثانية

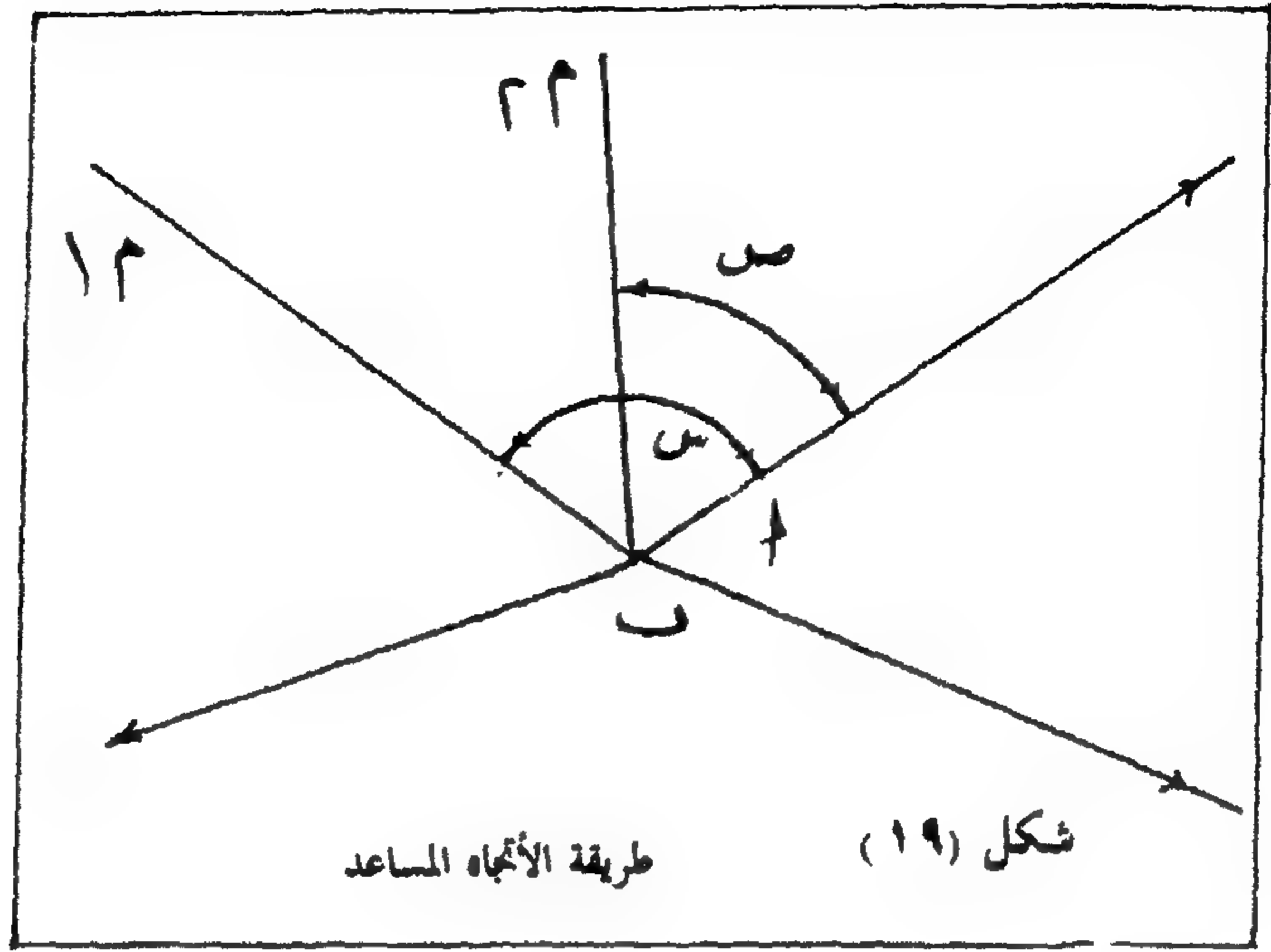
$$\text{عدد معادلات الرصد} = \frac{6 \times 7}{2} = 21$$

ثالثاً : طريقة الاتجاه المساعد ( Auxilliary Direction )

تستخدم هذه الطريقة إذا كان عدد الاتجاهات أقل أو مساوياً لثلاثة اتجاهات محصور بينها زاويتين — فبطريقة كل الاتجاهات نستطيع أن نكون ٣ معادلات رصد . ولما كانت القيمة الأكثر احتمالاً تزداد دقة كلما زاد عدد معادلات الرصد لذلك وجب علينا أن نزيد عدد معادلات الرصد في هذه الحالة عن ٣ معادلات وذلك باستخدام اتجاه مساعد ( اتجاه اختياري ) شكل ( ١٩ ) وبذلك يكون عدد معادلات الرصد هو ٦ معادلات أى الضعف ومنها يمكن تعيين قيمة أكثر احتمالاً للزاويتين المطلوبتين بين الثلاث اتجاهات الأصلية ١ ، ب ولزيادة الدقة ، يؤخذ اتجاه آخر نكون منه مع الاتجاهات الأصلية ( دون إدخال الاتجاه المساعد الأول في الحساب ) ٦ معادلات رصدية أخرى منها نعين القيمة الاحتمالية للزاويتين ١ ، ب وبأخذ متوسط القيمتين الاحتماليتين ١ ، ب نحصل على أقرب قيمة محتملة للزاوية الصحيحة . ونعتبر هذه الطريقة من أفضل الطرق استخداماً في شبكات المثلثات من نوع السلاسل المفردة لقلة الاتجاهات المرصودة بها — كما هو الحال في سلاسل الوجه القبلي .

وباستخدام الاتجاه م، تكون معادلات الرصد .





$$\begin{array}{lll}
 = \text{س} & = \text{ا} & = \text{ب} \\
 = \text{ا} + \text{س} & = \text{ب} + \text{ا} & \\
 = \text{ب} + \text{ا} + \text{س} & & 
 \end{array}$$

وباستخدام الإتجاه م، تكون معادلات الرصد .

$$\begin{array}{lll}
 = \text{ص} & = \text{ا} & = \text{ب} \\
 = \text{ا} + \text{ص} & = \text{ب} + \text{ا} & \\
 = \text{ب} + \text{ا} + \text{ص} & & 
 \end{array}$$

مميزات هذه الطريقة :

- ١ - استخدام كل الإتجاهات كإتجاهات أساسية .
- ٢ - زيادة عدد معادلات الرصد والمعادلات الشرطية وخصوصاً إذا كانت الإتجاهات كثيرة نسبياً وهذا مما يقربنا من قيم أكثر احتمالاً للزوايا .
- ٣ - التقليل من الأخطاء الآلية والمنتظمة .



#### رابعاً — طريقة توميلين : ( Tomilin )

وهي تستخدم أيضاً في رصد الزوايا المحصورة عند نقط مثلثات الدرجة الأولى . ويتم الرصد بها كالتالى :

١ — فى هذه الطريقة أختصرت معادلات الرصد لمجموعة من الاتجاهات عددها ( ٥ ) لكى تصبح ( ٢٥ ) فقط وذلك بقياس جميع الزوايا المحصورة بين أى اتجاهين متجاورين والزوايا المحصورة بين الاتجاه الأول والثالث ، ثم الثالث والخامس وهكذا .

٢ — يكرر القياس للزوايا المحصورة بين الاتجاه الثانى والرابع ثم الرابع والسادس . الخ .

ف عند محطة الرصد ( و ) ذات سبعة اتجاهات شكل ( ٢٠ ) تكون الزوايا المقاسة هى ١ — ٢ ، ٢ — ٣ ، ٣ — ٤ ، ٤ — ٥ ، ٥ — ٦ ، ٦ — ٧ ، ٧ — ١ .

ثم ١ — ٣ ، ٣ — ٥ ، ٥ — ٧ ، ٧ — ٢ .

ثم ٢ — ٤ ، ٤ — ٦ ، ٦ — ١ .

وبذلك يكون عدد معادلات الرصد  $14 = 2 \times 7$

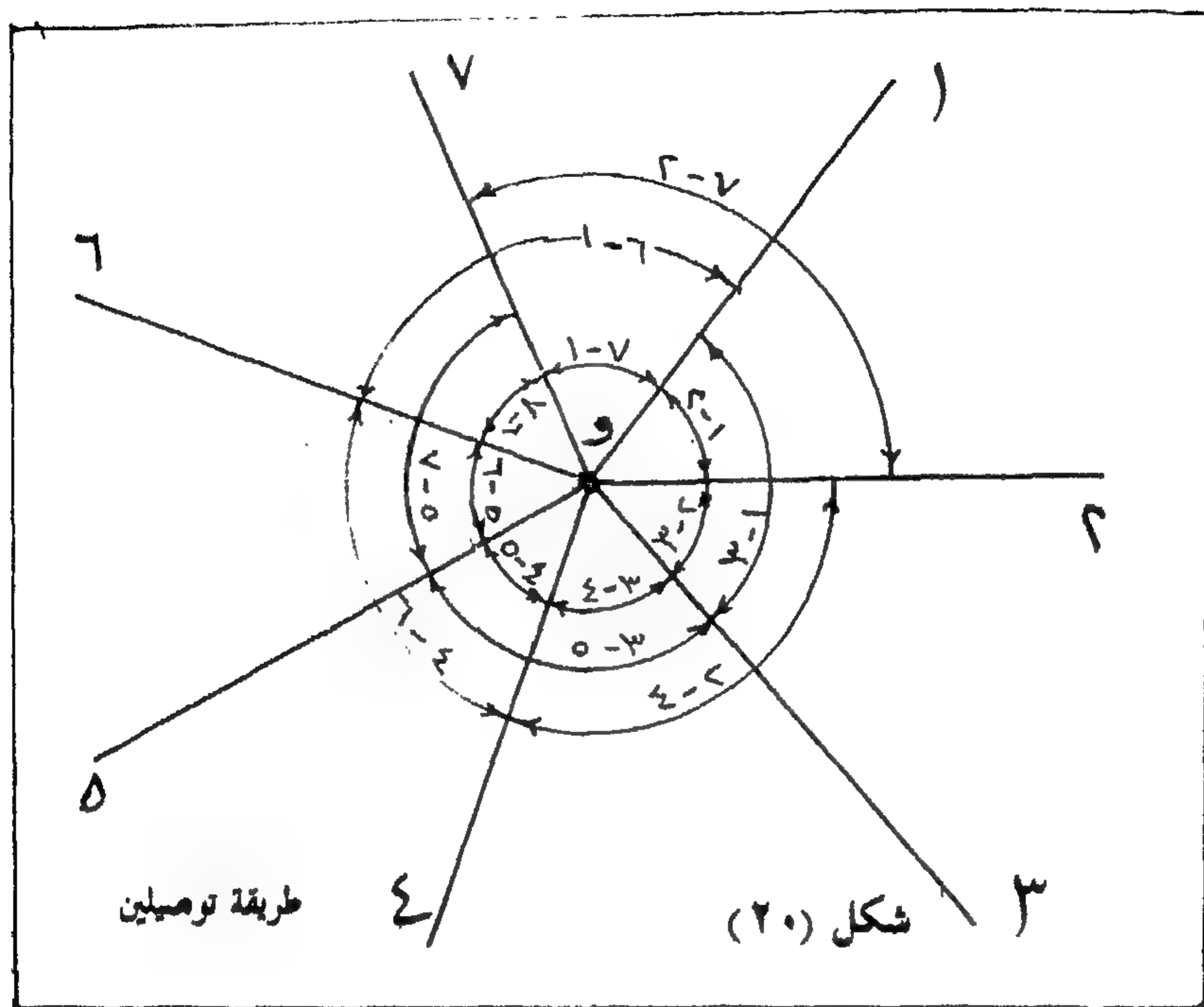
عدد الزوايا المطلوبة  $7 = 5$

ونلاحظ أنه بين الزوايا المقاسة بهذه الطريقة إارتباط الآتى :

١ — مجموع الزاويتين ( ١ — ٢ ) ، ( ٢ — ٣ ) ، ( ٣ — ٤ ) ، ( ٤ — ٥ ) ، ( ٥ — ٦ ) ، ( ٦ — ٧ ) ، ( ٧ — ١ ) يجب أن يساوى الزوايا ( ١ — ٣ ) ، ( ٣ — ٥ ) ، ( ٥ — ٧ ) ، ( ٧ — ٢ ) . ( ٢ )

ب — مجموع جميع الزوايا المحصورة بين الاتجاهات المتتالية يجب أن يساوى





٥٣٦٠ . وللحصول على القيم المصححة للزوايا المحصورة عند نقطة الرصد تستخدم المعادلات الشرطية والتي عددها يساوى عدد الزوايا المقاسة بالإضافة إلى المعادلة الشرطية الخاصة بقفل الأفق . فإذا كان عدد الاتجاهات المرصودة ( ٥ ) فإن :

(٣) .....

عدد معادلات الرصد = ٢ ٥

(٤) .....

عدد المعادلات الشرطية = ١ + ٥



#### خامساً — طريقة الزوايا المفردة : ( Single angle )

أُستُخدمت هذه الطريقة في تشيكوسلوفاكيا . وتعتمد هذه الطريقة أساساً على إمكان التغلب على جميع الأخطاء الآلية والشخصية والطبيعية معاً — فإمكان التغلب على الأخطاء الآلية يرصد كل إتجاه على ورنيتين ، ومتيامن ومتياسر وعلى أقواس مختلفة حددت بأن تكون ١٦ قوساً . ويستخدم في ذلك ثلاث أجهزة مختلفة .

ولإمكان التغلب على الأخطاء الشخصية يقوم بالرصد راصدان .

ولإمكان التغلب على الأخطاء الطبيعية يتم الرصد في أوقات مختلفة من النهار وإن كان أحسن أوقات الرصد هي صباحاً قبل وأثناء طلوع الشمس ومساءً قبل الغروب وفي هذه الطريقة يمكن أخذ ٣٨٤ قراءة عند كل إتجاه مرصود على النحو الآتي :

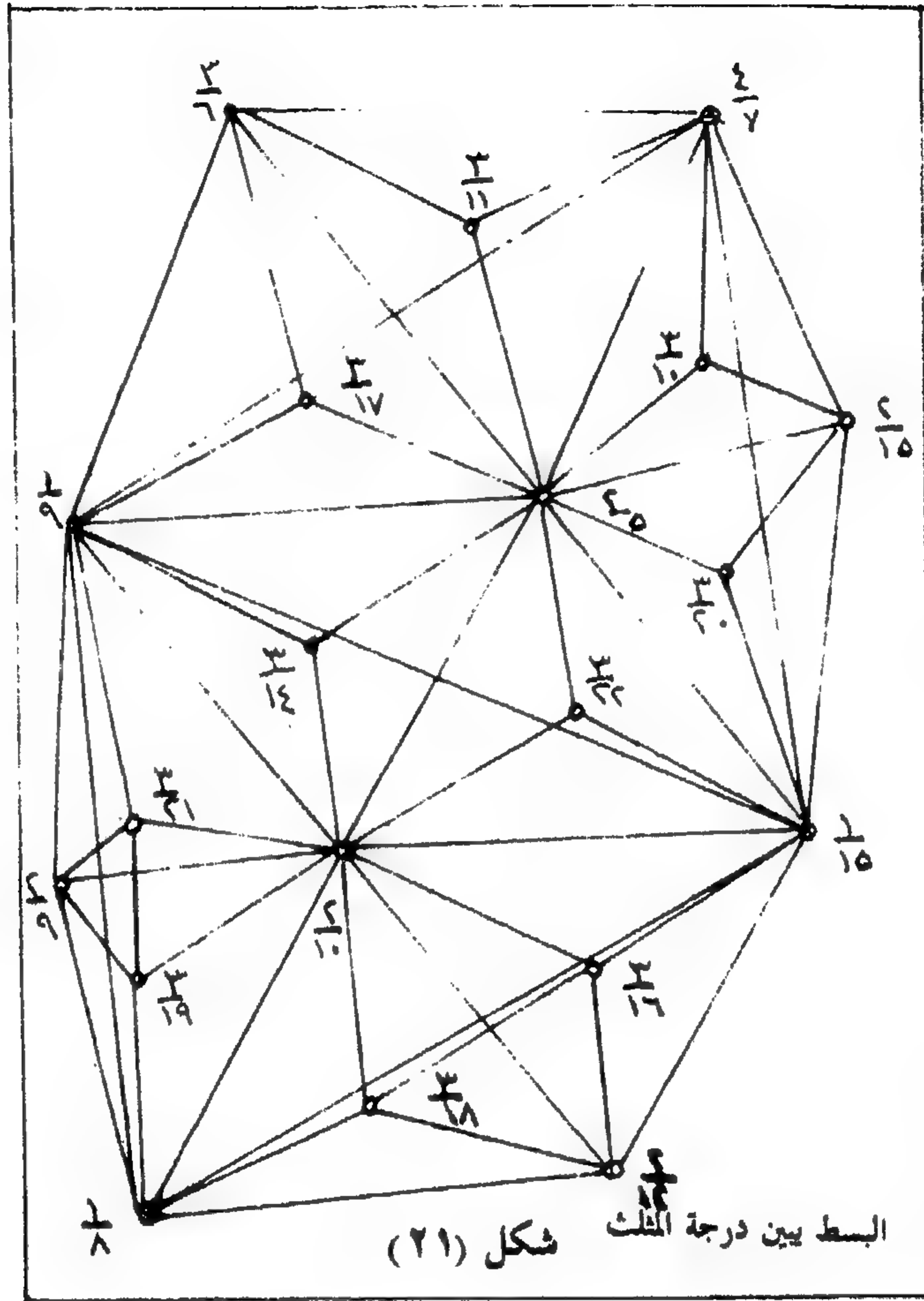
٢	قراءة ورنيتين
٢	متيامن ومتياسر
١٦	أقواس مختلفة
٣	أجهزة مختلفة
٢	راصدون

وبالتالي يكون عدد القراءات إليكم ٣٨٤ قراءة

#### سادساً — طريقة القطاعات : ( Sectors )

وهذا الطريقة مستعملة في سويسرا ، وهي الطريقة المستخدمة لقياس الاتجاهات إلى نقط مثلثات مختلفة الدرجات وتستخدم إحدى الطريقتين التاليتين شكل ( ٢١ ) .

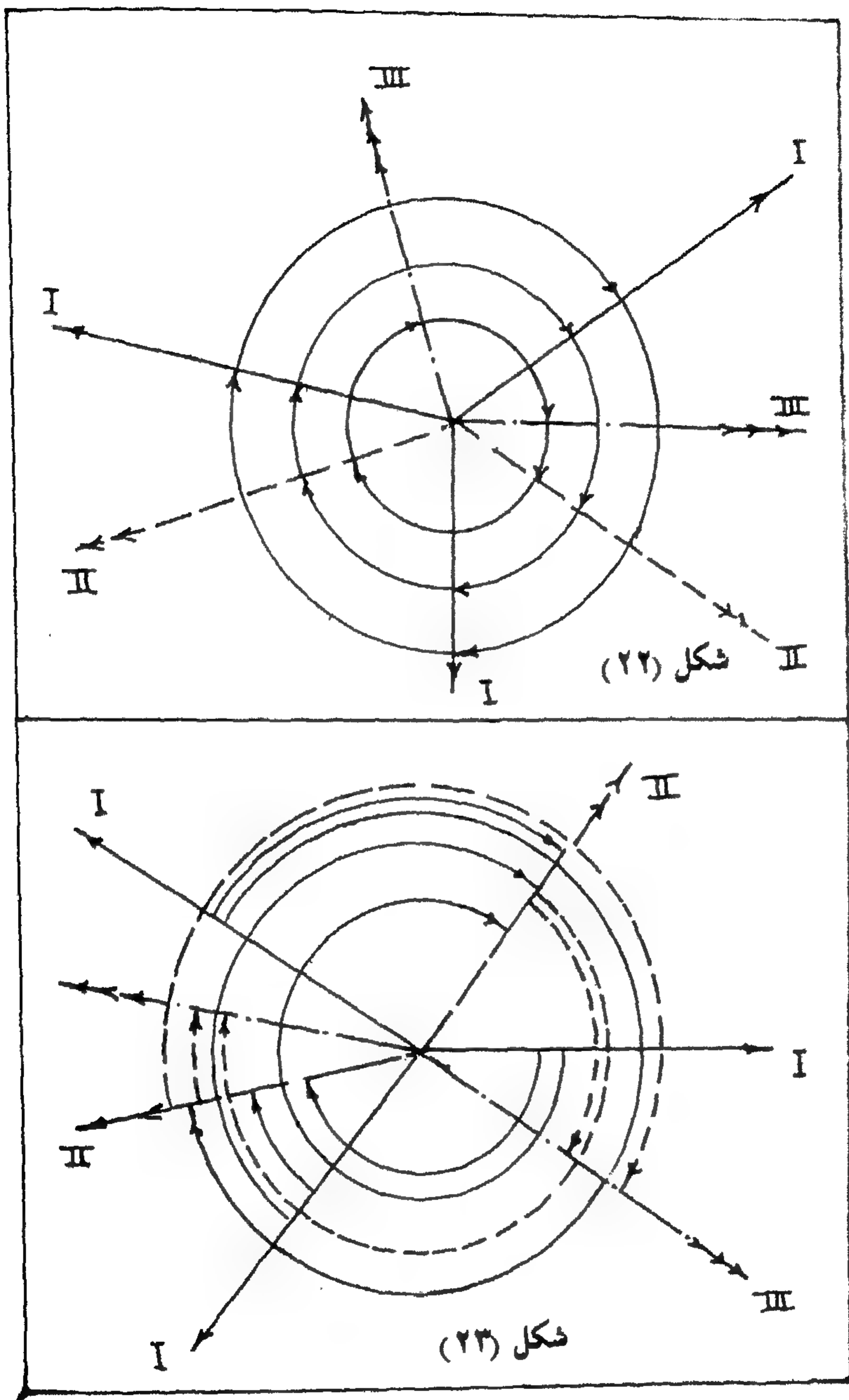




أ — طريقة قفل الأفق بين اتجاهات نقط الدرجة الأولى . ثم نقط الدرجة الأولى والثانية فقط ثم نقط الدرجة الثانية والثالثة شكل ( ٢٢ ) .

ب — طريقة جاوس فتؤخذ الاتجاهات إلى نقط الدرجة الأولى كاتجاهات أساس مع اتجاهات نقط الدرجة الثانية فقط ثم نأخذ اتجاهات الدرجة الثانية كاتجاهات أساسية مع اتجاهات الدرجة الثالثة شكل ( ٢٣ ) .







## تمارين

١ — قيسـت مجموعـة من الأتجاهات بطريقـة توميلين وكل الأتجاهات فكان الفرق بين عدد الأرصاد في الطريقتين مساوياً لعدد الأتجاهات . ماعدد هذه الاتجاهات . حدد عدد المعادلات الشرطية في كل طريقة .

٢ — أقترح طريقة لرصد سلاسل مثلثات الوجه القبلى وعلل .

٣ — مجموعـة من الأتجاهات متفرعة من نقطة — قيسـت بطريقـة كل الأتجاهات وتوميلين فكانت الأرصاد متساوية في الطريقتين .  
ما عدد هذه الأتجاهات . وما عدد الشروط في كل حالة مع كتابة هذه الشروط .







## الباب الثالث

### الضبط الدائم للتيودوليت

عند إستخدام جهاز التيودوليت في قياس الزوايا الأفقية أو الرأسية يجب أن تكون جميع حركات الجهاز الدائرية في المستويين الرأسى والأفقى الحقيقيين طبقاً لتصميم الجهاز ، وهذا ما يعرف بالشروط الدائمة .

إن ضبط المحاور المختلفة للتيودوليت له أهمية كبيرة للحصول على أحسن أداء للجهاز من حيث الأرصاد وأنواعها المختلفة . ويتفاوت مدى تأثير عدم الضبط طبقاً لنوعيه المحاور ومدى الخطأ فيها وكذلك نوعيه الأرصاد وقيمها العددية .

ويحتوى التيودوليت على مجموعتين من المحاور المتعامدة الأولى منها لتنظيم التحركات في المستوى الأفقى والثانية لتنظيم التحركات في المستوى الرأسى .

ويختلف إجراء الضبط إختلافاً طفيفاً من جهاز لآخر ولكن المهندس لا يجد صعوبة في معرفة الفروق الطفيفة عند معالجته للأنواع المختلفة من التيودوليت وللتحقق من توافر الشروط يجرى الضبط الدائم .

### أنواع الضبط الدائم

يوجد نوعان من الضبط الدائم .

#### I — ما يمكن إجراؤه في الغيط : Adjustable Parts

يصحح العيب إما بفك مسمار بالجهاز أو بربط آخر لتعديل أوضاع بعض أجزاء أو محاور الجهاز .

#### II — ما يجرى في المصنع : Non-Adjustable Parts

وهى تكون شروط أصلية في صناعة الجهاز ولا يمكن تصحيح العيب أو



الخلل إلا في المصنع ، ويمكن تلافيها أو الإقلال من تأثيرها باتباع برامج خاصة في الرصد وفي الحسابات .

### تعليمات هامة أثناء إجراء الضبط :

١ — يجب إجراء الضبط بالترتيب المبين لأن بعض أنواع الضبط تؤثر على البعض الآخر وتغيره .

٢ — لا يجرى الضبط والجهاز معرض للشمس خاصة إذا كان التعرض من جانب واحد للجهاز ، ويحسن أن يظل الجهاز أو يكون الضبط في يوم مغيم .

٣ — لا تحاول أن تضبط كل شرط تماماً من أول مرة ، فقد يؤثر ضبط أحد الشروط على شرط أو أكثر من الشروط السابق ضبطها كما يجب أن تعاد كلها أكثر من مرة . والأفضل أن يعاد الضبط على الأقل ثلاث مرات .

٤ — لا تربط المسامير بشدة أو الضغط عليها أكثر من اللازم ، فإن هذا قد يتلف الجهاز والمسامير ويسبب نعومتها أيضاً ، ولا يجعل الضبط يدوم مدة طويلة .

### ١ — الضبط الدائم للشروط

#### التي تجرى في الفيط

للتيودوليت خمسة محاور رئيسية كما هو مبين في شكل ( ٢٤ ) يتوقف على ضبطها الضبط الدائم للتيودوليت وهي :

١ — المحور الرأسى لدوران الجهاز : ( Vertical axis ) ( V - V )

٢ — محور ميزان التسوية الطولى المثبت فوق الدائرة الأفقية ( L - L )

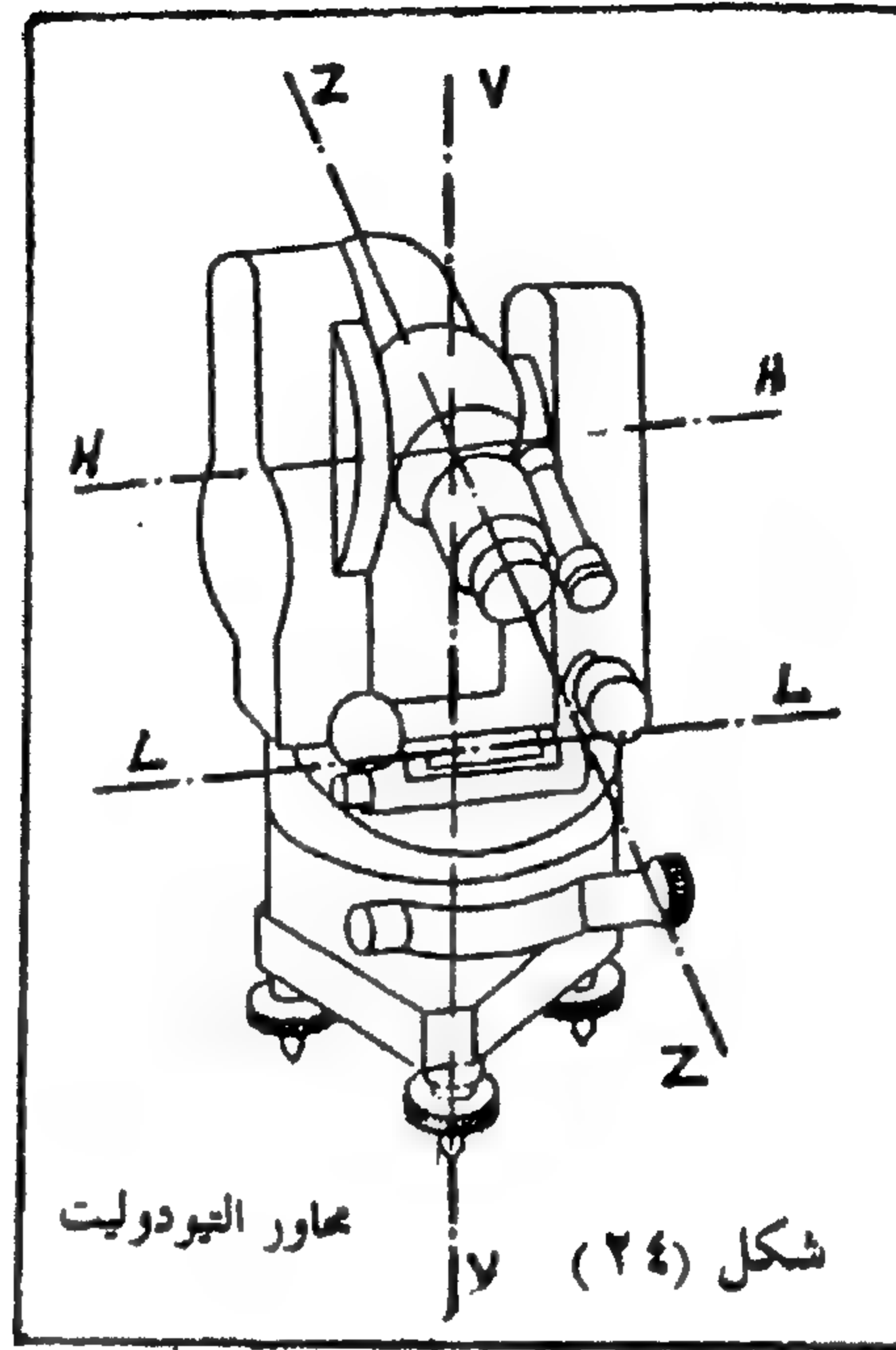
٣ — خط الانطباق أى خط إنطباق المحور البصرى على خط النظر ( Z - Z )

٤ — المحور الأفقى لدوران المنظار : ( Trunnion axis ) ( H - H )

وهو المحور الذى يدور حوله المنظار فى المستوى الرأسى .

٥ — محور ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية ( A - A )





ويجب أن يجرى ضبط الشروط حسب الترتيب ويكرر الضبط . والشروط الدائمة هي :

الشرط الأول — تعامد محور ميزان التسوية الخاص بالدائرة الأفقية على المحور الرأسى لدوران الجهاز ( $LL \perp VV$ )

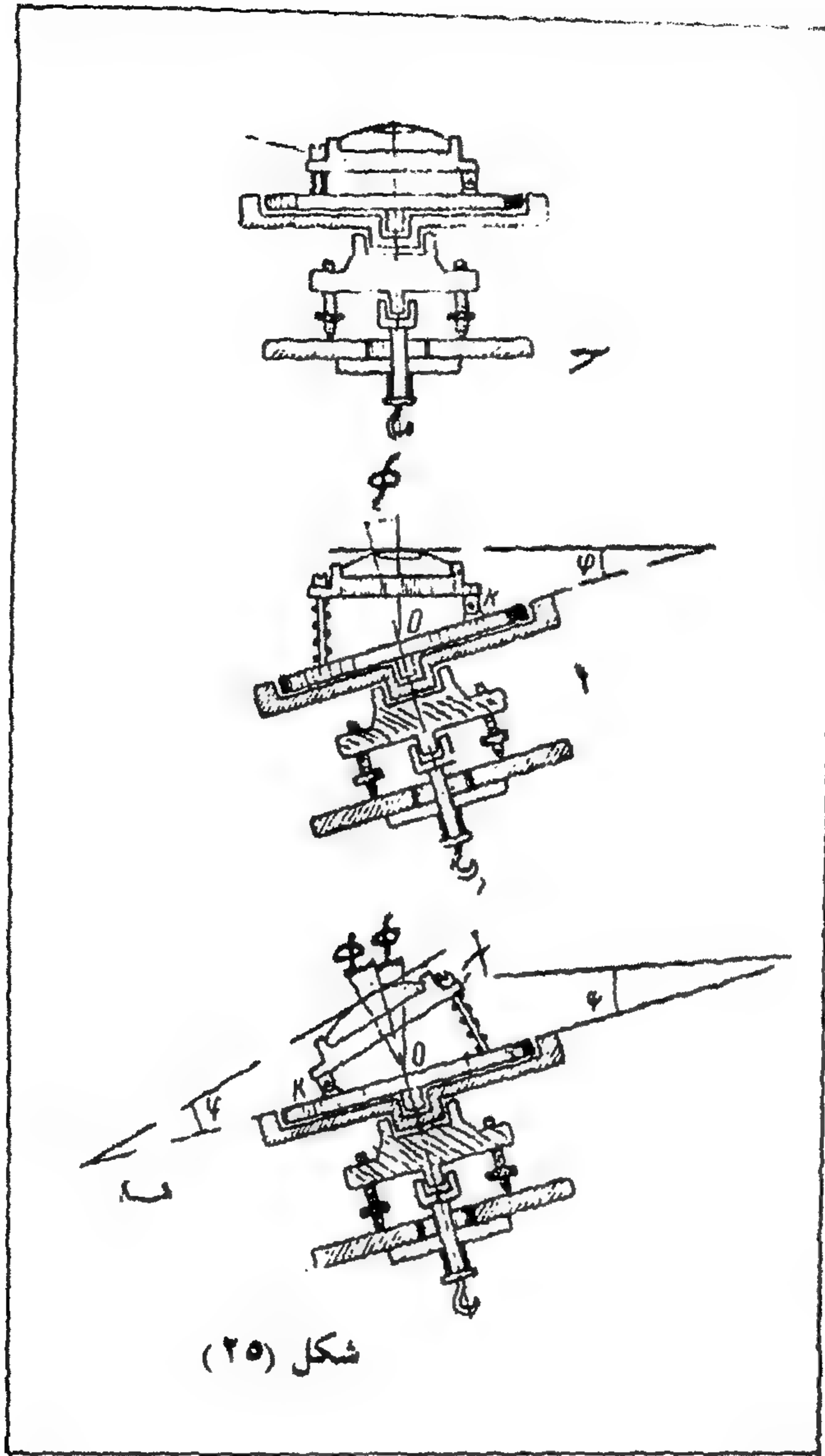
١ — ضرورته :

يجب أن يكون محور ميزان التسوية موازياً للقرص الأفقى بحيث إذا كان هذا المحور أفقى تماماً أصبح المحور الرأسى لدوران الجهاز رأسى تماماً .

ب — ضبطه :

١ — ثبت الجهاز فوق الحامل ثم نجعل الفقاعة في منتصف مجراها بمسامير التسوية ( ٢٥ — ١ ) .





٢ — ندير الأليداد ٥١٨٠ فإن ظلت الفقيعة في منتصف مجراها كان الميزان مضبوطاً أى أن محوره عمودى على المحور الرأسى .

٣ — أما إذا انحرفت الفقيعة ٢ φ من الأقسام شكل ( ٢٥ — ب ) فنصحح نصف الخطأ بمسار ضبط ميزان التسوية فنرفع أو نخفض صواميل



هذا الميزان حتى يتحرك مركز الفقيعة ويعود نحو منتصف المحرى  $\phi$  من الأقسام ويصحح النصف الثانى بمسامير التسوية شكل ( ٢٥ - ح ) وبذا يتوفر الشرط ويكون  $VV \perp LL$  .

ح - تأثيره :

١ - يؤثر أساساً على دقة قياس الزوايا الأفقية كما يؤثر أيضاً على الزوايا الرأسية ، إذ أن القياس يكون فى مستوى مائل غير أفقى تماماً ، أو رأسى تماماً ، لأنه بينما تكون الفقيعة فى منتصف مجراها تكون الدائرة الأفقية مائلة وكذلك الدائرة الرأسية ، وبذا فإن الزاوية التى يحصل عليها فى مستوى مائل تكون أكبر من حقيقتها التى فى المستوى الأفقى أو فى المستوى الرأسى . ويتوقف مدى التأثير فى الزوايا الأفقية على مقدار اختلاف الزاويتين الرأسيتين لضلعى الزاوية المرصودة .

١ - حالة تساوى الزاويتين الرأسيتين :

نفرض فى شكل ( ٢٦ ) أن  $اب ح$  الزاوية الأفقية المطلوب قياسها . نضع الجهاز فوق ( ب ) ونوجه إلى ( ا ) نحرك المنظار حتى نرصد ( ح ) .

هـ =  $اب ح$  = الزاوية الأفقية الصحيحة

هـ =  $اب ح_١$  = الزاوية الأفقية المقيسة

م = ميل القرص عن المستوى الأفقى .

نوجد م من حساسية الجهاز ، فعندما تنحرف الفقيعة ٢ هـ من الأقسام فإن :

$$م = هـ \times \text{حساسية الجهاز} \quad \dots\dots ( ٥ )$$

$$\text{ظاه} = \frac{ح_١}{و} = \frac{ح}{و} \cdot \frac{ح_١}{و}$$



ظا ه = جتا م . ظا ه<sub>1</sub>  
 ظا الزاوية الأفقية الصحيحة = جتا زاوية ميل القرص . ظا الزاوية الأفقية المقيسة

(٦) .....

ونلاحظ أن ه<sub>1</sub> تزيد كلما زادت ( م ) أى أن الخطأ يتزايد مع تزايد ( م ) ويتلاشى إذا كانت م = صفر .

هذه العلاقة صحيحة كما ذكرنا إذا كانت زاويتا إرتفاع ا ، ح متساويتين ( ليس من الضروري أن يكون ا ، ح فى منسوب واحد ) .

حالة اختلاف الزاويتين الرأسيتين :

إذا اختلفت الزاويتان الرأسيتان لضلعى الزاوية الأفقية المرصودة فإن الخطأ يزداد بأزدياد الفرق بين هذه الزوايا الرأسية ويكون التأثير على الاتجاهين ا ب ، ب ح ، وبالتالى على الزاوية ا ب ح ، وتبعاً للزوايا الرأسية هذه .  
 وبتطبيق المعادلة ( ٨ ) نحصل على محصلة الخطأ فى الاتجاهين كما سنبين بعد فى المثالين الخاصين بهذه المعادلة .

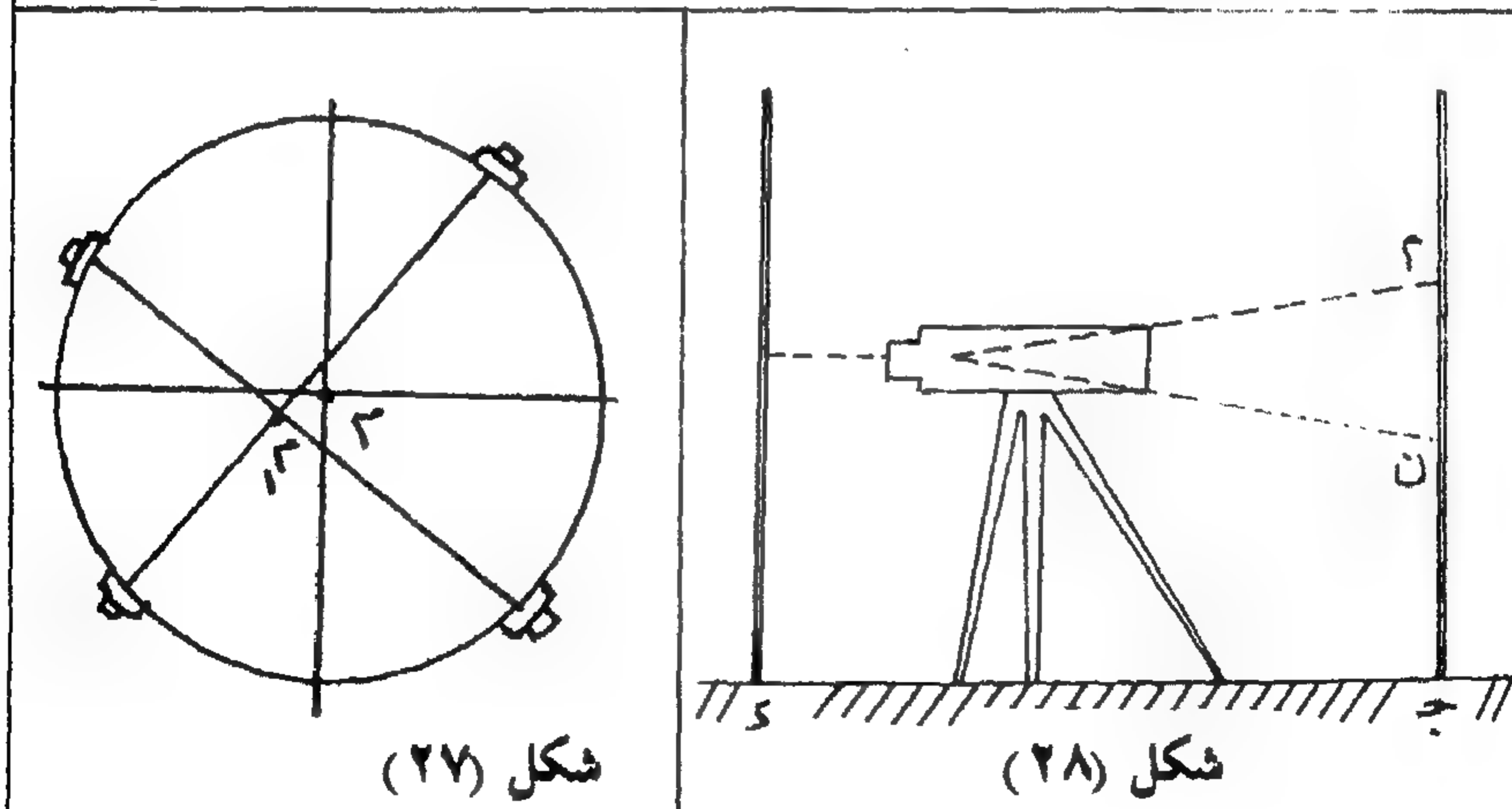
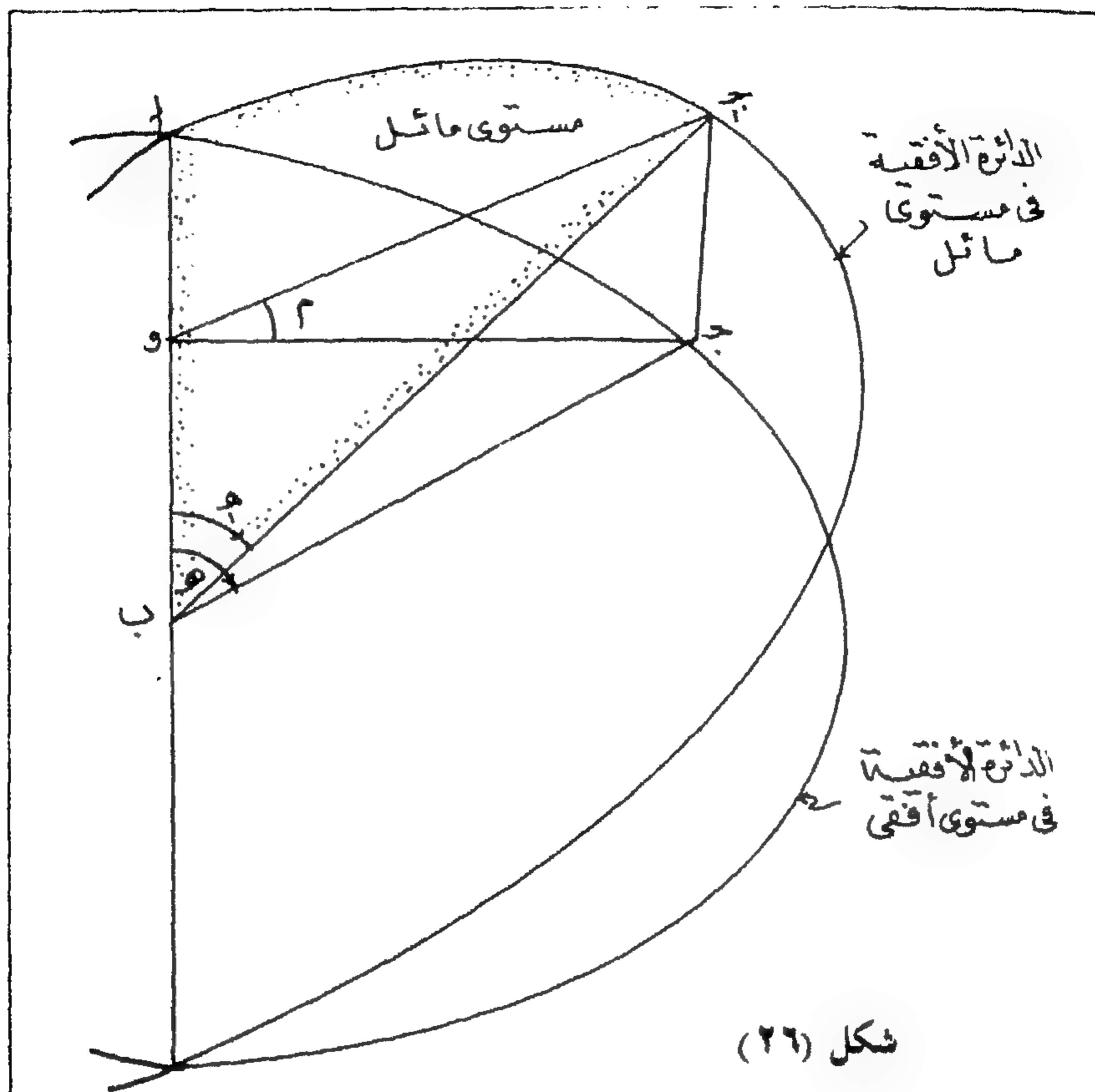
وإجمالاً فإنه يمكن الحصول على الزاوية الأفقية الحقيقية أولاً كما لو كانت الزوايا ا ، ح الرأسية متساوية ثم نطبق التصحيح على هذه الزاوية من المعادلة ( ٧ ) كما سيأتى على كل من الاتجاهين ا ب ، ب ح بالأشارة الجبرية لكل تصحيح .

( ٧ ) .....

ظا و = ظا م قاط

حيث و = الخطأ فى اتجاه الضلع  
 م = كما سبق







ط = الزاوية الرأسية ارتفاع أو انخفاض

الزاوية الأفقية الصحيحة = ط - ( ظام قاط ) + ظا - ( ظام قاط )

( ٨ ) .....

وقد أجرى بحث في مدى هذا التأثير فوجد ما يلي :

١ — في حالة تساوى الزاويتين الرأسيتين .

يمكن إهمال ميل القرص في المدى العملى في قياسات الزوايا الأفقية ما عدا في الشبكات المثلثية الدقيقة كحالة الدرجة الأولى حيث يتطلب الأمر دقة ٠,٠١ من الثانية في الزاوية الأفقية .

٢ — في حالة اختلاف الزاويتين الرأسيتين .

أ — في جميع حالات اختلاف الزوايا الرأسية فإن الخطأ له أهمية كبيرة تصل في الحالات العملية إلى ١٦ دقيقة . ولذا يجب الاعتناء التام في ضبط الفقيعة .  
ب — الخطأ في الزاوية الأفقية يتناسب طردياً مع زاوية ميل القرص الأفقى .

ح — يزداد الخطأ في الزاوية الأفقية في حالة الزوايا الرأسية الكبيرة لنفس الزاويتين الرأسيتين الأقل قيمة فمثلاً في حالة ٥٦٠ ، ٥٥٠ مع ميل للقرص ٤ دقائق فالخطأ يساوى ٤٧ " بينما في حالة ٥١٠ ، صفره لنفس ميل القرص فالخطأ ٤ ثوانى تقريباً .

د — تزداد أهمية ضبط الفقيعة في حالة أن تكون إحدى الزاويتين ارتفاع والأخرى انخفاض وذلك بالمقارنة بحالة أن تكون كلتاها ارتفاع أو انخفاض ولنفس الفارق .

فمثلاً في حالة ميل القرص ٤ دقائق ولزاويتى ( ٥١٠ + ، ٥١٠ - ) فالخطأ ٩ " تقريباً بينما في حالة ( ٥٦٠ ، ٥٤٠ ) فالخطأ ٣ دقائق تقريباً .



د — تلافيه :

لا يمكن تلافيه إلا بأجراء الضبط ، ولا يؤثر الرصد بالوجهين المتباين والمتباين على تصحيح هذا الخطأ .

الشرط الثاني — انطباق خط النظر على المحور البصرى وتعامده على المحور الأفقى (  $ZZ \perp HH$  )

خط النظر هو الخط الواصل بين مركز الشيئية ونقطة تقاطع الشعرات ، أما المحور البصرى فهو الخط الواصل بين مركزى الشيئية والعينية . ويجب أن ينطبق الخطان ، والخط الناتج من تطابقهما يسمى ( خط الأنطباق ) ( Line of Collination ) .

ولأستيفاء هذه الشروط يجب أن تقع نقطة تقاطع الشعرات على المحور البصرى . ولأجراء صحة خط الأنطباق يجب أن نختبر الشعرتين الأفقية والرأسية فى منظار الجهاز ، كل واحدة منها على حدة . ولضبط موضع نقطة تقاطع الشعرات من م، إلى م شكل ( ٢٧ ) فيتم ذلك بضبط الشعرة الأفقية من حيث الأمالة ثم زحزحتها إلى م وبالمثل الشعرة الرأسية ( إمالة وزحزحة ) .

١ — ضبط الشعرة الأفقية :

١ — ضرورته :

أن تصبح الشعرة أفقية تماماً ومارة بالمحور البصرى ، وإلا كان خط النظر غير أفقى عند ضبط أفقية الجهاز والمنظار ، ويكون خط النظر مائلاً إلى أعلى أو إلى أسفل .

ب — ضبط أفقية الشعرة ( الأمالة ) :

يثبت الجهاز فى أرض صلبة ويضبط أفقياً تماماً ، نضع قامة رأسية على بعد مناسب ونرصد التدريج الذى تنطبق عليه الشعرة . ندير الجهاز ببطء حول محوره الرأسى فإن ظلت الشعرة الأفقية منطبقة على تدريج القامة الأفقية كانت



الشعرة أفقية تماماً . ( ويمكن أن نحدد نقطة على حائط بدلاً من القامة ) فإذا كانت الشعرة غير أفقية تفك مسامير حامل الشعرات وندير الحامل حتى نستوفي الشروط .

#### ح - ضبط مرور الشعرة بالمحور البصرى ( الزحزحة )

١ - توضع قامتان فى ح ، د على بعد ٥٠ أو ١٠٠ متر تقريباً من بعض شكل ( ٢٨ ) نثبت التيودوليت أفقياً وقريباً جداً من إحدى النقطتين ولتكن ( د ) .

٢ - نربط جميع المسامير ونقرأ القامة فى ( ح ) ولتكن القراءة ( م ) .

٣ - ننظر خلال الشيئية ونقرأ القامة ( د ) .

٤ - ندير المنظار حول محوره الأفقى ٥١٨٠ ثم حول محوره الرأسى .

٥ - نحرك المنظار بمسمار الحركة البطيئة للمنظار حتى نقرأ على ( د ) نفس القراءة الأولى وذلك خلال الشيئية ، ثم نأخذ القراءة على القامة ( ح ) ولتكن ( هـ ) .

٦ - إذا كانت ( م ) تساوى ( هـ ) كان الشرط مستوفياً ، وإلا نفك مسمار حامل الشعرات العلوى ونربط السفلى أو العكس ، ونحرك حامل الشعرات إلى أعلى أو إلى أسفل حتى نحصل على متوسط القراءتين  $\frac{1}{2}(م + هـ)$

للحصول على قراءة أقل نرفع حامل الشعرات بفك المسمار العلوى والربط على السفلى أو بالعكس للحصول على قراءة أزيد ، وذلك بشرط ربط المسمارين الأيمن والأيسر .

٧ - تكرر العملية عدة مرات .

تأثيره :

يؤثر على الزوايا الرأسية فقط حيث أن الشعرة الأفقية هى المحددة أصلاً للأرتفاع .



تلافيه :

يمكن تلافيه بالضبط أو بالرصد متيامن أو متياسر ثم أخذ المتوسط .

٢ — ضبط الشعرة الرأسية :

١ — ضبط رأسية الشعرة ( الأمالة ) :

١ — حيث أن الشعرتين متعامدتان تماماً . فعملية ضبط أفقية الشعرة الأفقية نكون قد أستوفينا الشروط .

٢ — يمكن أن نتأكد من صحة ذلك بأن نضبط الجهاز أفقياً ونرصد أعلى نقطة في خيط شاغول يتدلى من أعلى بناء .

٣ — نربط مسامير الحركة الأفقية ، ونحرك المنظار إلى أسفل ونلاحظ أنطباق الشعرة على طول الخيط أثناء دوران المنظار حول محوره الأفقى ، أو نضع علامة وندير المنظار حول محوره الأفقى بعد ربط مسامير الحركة الأفقية فيجب أن تنطبق هذه العلامة دائماً على الشعرة أثناء دوران المنظار . وإن لم تنطبق فستظهر أثناء الدوران كما في شكل ( ٢٧ ) .

٤ — يصحح الخطأ بفك مسامير حامل الشعرات وإدارته في الاتجاه المطلوب ( في حالة الشكل تكون الإدارة في اتجاه السهم ) حتى تصبح الشعرة الرأسية منطبقة دائماً على العلامة أو خيط الشاغول أثناء دوران المنظار .

ب — ضبط مرور الشعرة بالمحور البصرى ( الزخزحة )

١ — ضرورته :

لكى تصبح كل من الشعرة الرأسية والأفقية في وضع تقع فيه نقطة تقاطعهما على المحور البصرى ، وبهذا يرسم خط النظر مستوياً رأسياً عند دوران المنظار حول المحور الأفقى وإلا رسم مخروطاً رأسه على المحور الأفقى . وأى مستوى رأسى يقطع هذا المخروط في نصفى قطع زائد .



## ب — ضبطه :

١ — يثبت التيودوليت فى أرض مكشوفة مستوية لمسافة ١٠٠ متر تقريباً عند نقطة مثل س شكل ( ٢٩ ) . توجه المنظار نحو شوكة فى أ على بعد ٥٠ متر تقريباً ونرصدها على الشعرة الرأسية .

٢ — نربط كل مسامير الحركة الأفقية وندير المنظار حول محوره الأفقى ثم نعين نقطة مثل ( ب ) فى الجهة الأخرى وعلى البعد نفسه من الجهاز أى ٥٠ متراً تقريباً .

## ملحوظة :

يجب أن تكون ( ب ) على زاوية ارتفاع أ تقريباً احتياطياً ضد احتمال عدم توافر الشرط الثالث الذى سيذكر فيما بعد .

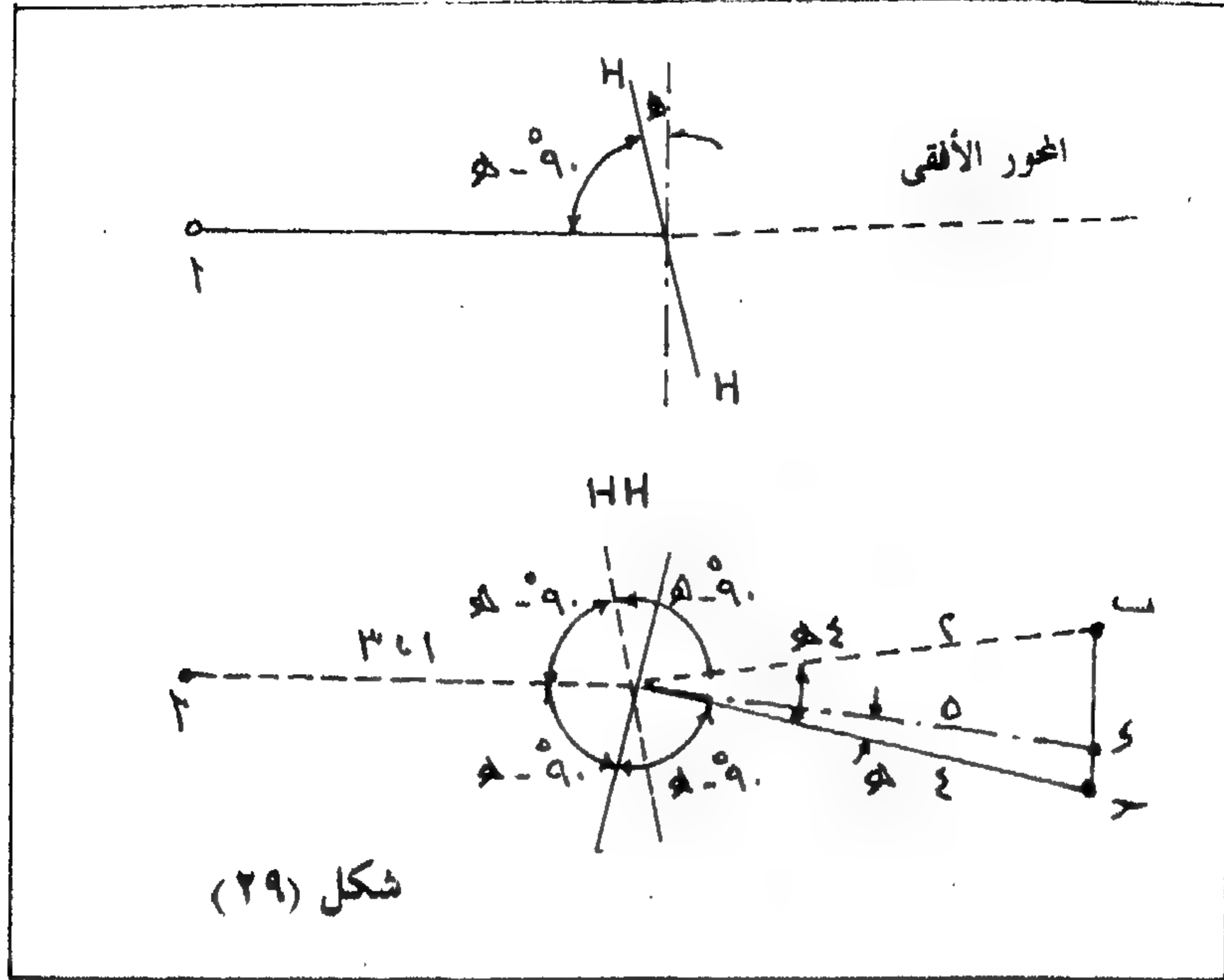
٣ — ن فك مسمار ربط القرص العلوى بالحافة الأفقية وندير الجهاز حول محوره الرأسى ؛ ثم نرصدا مرة أخرى ونربط المسمار ثانية .

٤ — ندير المنظار حول محوره الأفقى ؛ فإذا رصدنا ب مرة أخرى كان خط النظر عمودياً على المحور الأفقى لدوران المنظار ، وإلا فنعين نقطة مثل ح أمام ب على بعد من الجهاز يساوى بعد ب عنه ويكون ب ح يساوى أربعة أمثال الخطأ الحقيقى أى يساوى ( ٤ هـ ) وذلك لأننا عكسنا المنظار مرتين . ويسمى ح ب ( بالخطأ الظاهرى ) .

٥ — نعين موضع د بين ح ، ب بحيث تبعد عن ح بمقدار يساوى  
١ ح ب  
٤

٦ — نحرك الشعرة الرأسية بواسطة مسمارى حامل الشعرات الأيمن والأيسر ، بفك أحدهما والربط على الآخر ، بعد ربط المسمارين العلوى والسفلى ، حتى نجعل الشعرة الرأسية ترصد د .





شكل (٢٩)

٧ — تكرر العملية كلها عدة مرات حتى تنطبق نقطتان ، ح على بعض دائماً .

ح — تأثيره :

أولاً — يؤثر في الزوايا الأفقية المحددة بنقط على أبعاد مختلفة من الجهاز إذا كان التطبيق خارجي لأن خط النظر يتغير تبعاً لتغير موضع الشبيبة عند التطبيق .

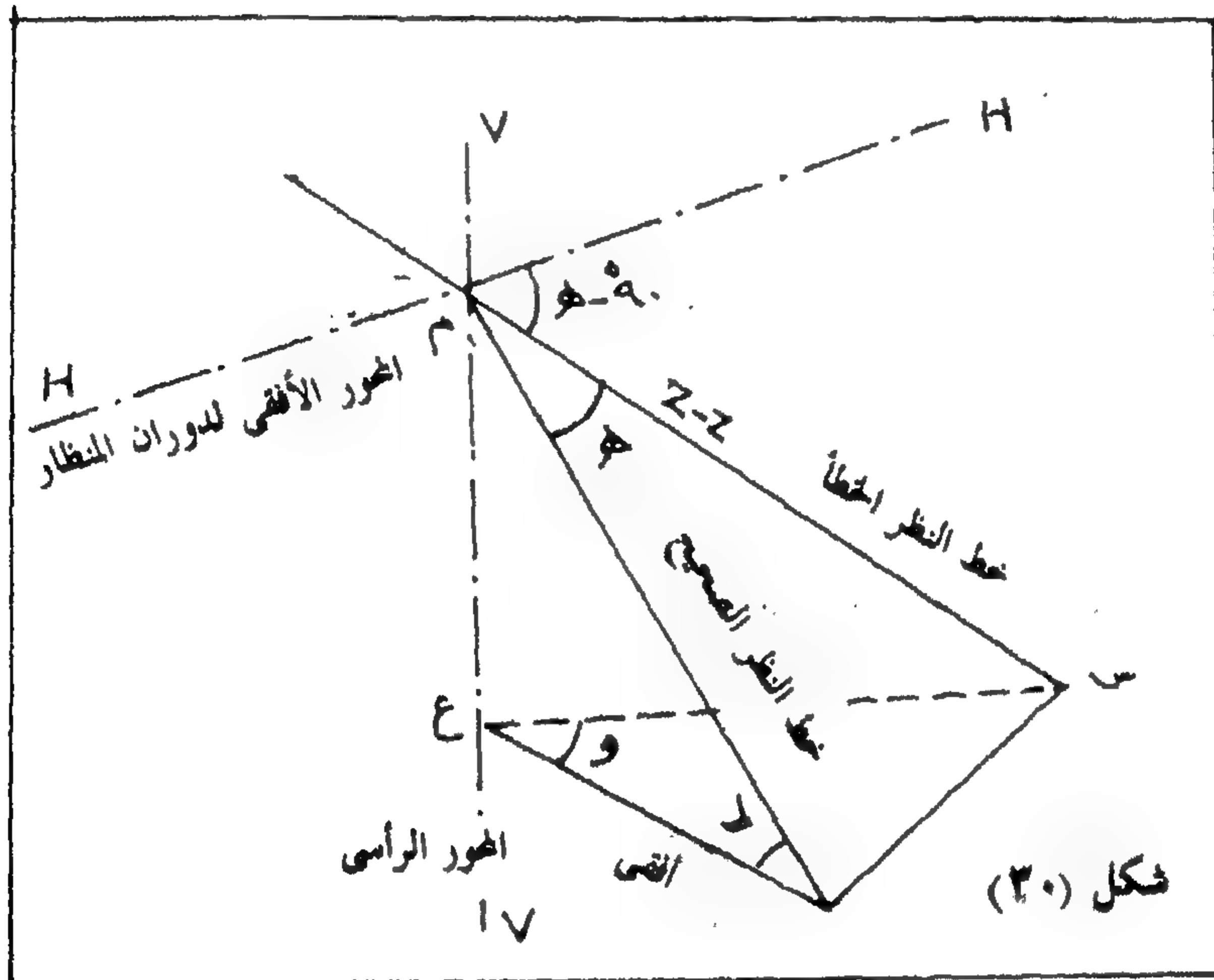
ثانياً — يؤثر في الزوايا الأفقية المحددة بنقط على زوايا رأسية مختلفة .

١ — نفرض أن أ ، ب هما النقطتان المطلوب إيجاد الزاوية الأفقية بينهما والمحصورة عند الجهاز . لا يكون هناك أى خطأ في الزاوية الأفقية نتيجة لعدم مرور الشعرة الرأسية بالمحور البصرى ، أى عدم تعامد خط النظر مع المحور الأفقى لدوران المنظار ، إذا كانت الزاويتان الرأسيتان للنقطتين أ ، ب متساويتين ويزداد هذا الخطأ بازدياد الفرق بين هاتين الزاويتين الرأسيتين .



٢ — نفرض الاتجاه م ص يميل على الأفقى بزاوية مقدارها ( ط ) ( إرتفاع  
أو انخفاض ) شكل ( ٣٠ ) .

فإذا كان خط الانطباق ( خط محور المنظار ) ينحرف بمقدار ( هـ ) فيكون  
مسططه على مستوى الدائرة الأفقية هو س ع وليس ص ع . وبذا يكون الخطأ  
في اتجاه م ص = س ع ص = الزاوية و .



ومن شكل ( ٣٠ ) .

$$\text{ظا و} = \frac{\text{س ص}}{\text{ص ع}} ، \text{ظا هـ} = \frac{\text{س ص}}{\text{ص م}}$$

$$\therefore \text{س ص} = \text{ص م} \times \text{ظا هـ}$$

$$\text{ولكن ص م} = \text{ص ع} \times \text{قا ط}$$

$$\therefore \text{ظا و} = \frac{\text{ص م} \times \text{ظا هـ}}{\text{ص م} \times \text{جتا ط}}$$



( ٩ ) .....

ظا و = ظاه قاط

ونظراً لصغر كل من الزاويتين و ، ه فيمكن كتابة المعادلة على الصورة

( ١٠ ) .....

و " ه " قاط

حيث و = الخطأ في الاتجاه للضلع .

ه = زاوية انحراف خط النظر أفقياً بالنسبة للمحور البصرى .

ط = الزاوية الرأسية للضلع .

وعليه فيكون الخطأ في قياس الزاوية الأفقية بين نقطتين زاويتا إرتفاعهما

ط ، ط<sub>١</sub> = ظا - ظا<sub>١</sub> ( ظاه قاط ) ± ظا - ظا<sub>١</sub> ( ظاه قاط )<sub>١</sub> .

ويلاحظ أن المعادلات تتشابه في حالة أولاً وثانياً في شروط الضبط ( أى

ميل القرص وزاوية انحراف الشعرة الرأسية ) .

وإذا كانت ط ، ط<sub>١</sub> أحدهما زاوية إرتفاع والأخرى إنخفاض فالخطأ يساوى

المجموع وليس الفرق ، وعلى العموم فإن الخطأ في كل إتجاه تتوقف إضافته أو

طرحه من الزاوية على ثلاثة عوامل هى :

١ — إنحراف الشعرة الرأسية ناحية اليمين أو اليسار بالنسبة لمحور الدوران .

٢ — الزاوية الرأسية إذا كانت إرتفاع أم إنخفاض .

٣ — ضلع الزاوية هل هو ناحية اليمين أو اليسار .

ثالثاً : يؤثر في مد الخطوط أى حين نضطر إلى قلب المنظار ( أنظر مد

الخطوط وطريقة الضبط نفسه ) .

وقد وجد من البحث السابق ذكره ما يلى :



١ — الخطأ في الزاوية في جميع الحالات له قيم كبيرة تصل في بعض الحالات إلى أكثر من خمس درجات .

٢ — يتناسب الخطأ في الزوايا الأفقية تناسباً طردياً مع زاوية انحراف الشعرة .

٣ — يزداد الخطأ في الزاوية الأفقية في حالة الزوايا الرأسية الكبيرة ( لنفس فارق الزاويتين الرأسيتين ) فمثلاً في حالة ( ٥٦٠ ، ٥٥٠ ) مع زاوية انحراف للشعرة قدرها ٥١ نجد أن الخطأ ٢٧ دقيقة تقريباً بينما في حالة ( ٥١٠ ، ٥٠ ) لنفس مقدار الانحراف فإن الخطأ قدرها ٥٦ ثانية .

٤ — يزداد أهمية هذا الخطأ في حالة أن تكون إحدى الزاويتين ارتفاع والأخرى انخفاض وذلك بالمقارنة بحالة أن تكون كلتاهما ارتفاع أو انخفاض فمثلاً خطأ قدره ٥١ ، ولزاويتي ( ٥١٠ ، ٥١٠ ) فالخطأ ٢' ٥٢ بينما في حالة ٥٦٠ ، ٥٤٠ ، فالخطأ قدره ٤٢" فقط .

د — تلافيه :

يمكن تلافى تأثير هذا الخطأ بالرصد متيامن ومتياسر .

### الشرط الثالث — تعامد المحور الأفقى لدوران المنظار على المحور الرأسى لدوران الجهاز ( $VV \perp HH$ )

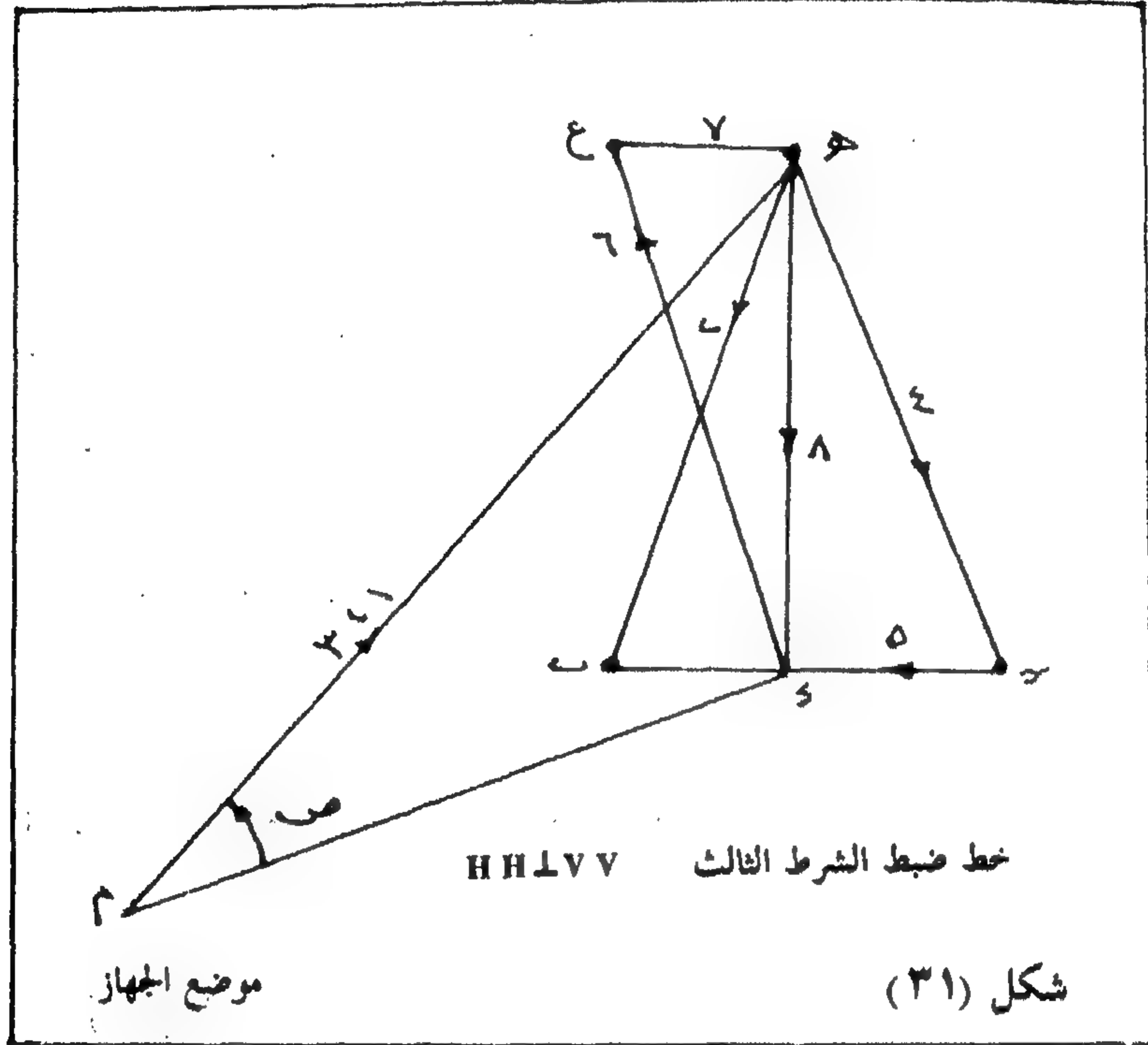
١ — ضرورته :

أن يرسم خط النظر عند دورانه حول المحور الأفقى مستوياً رأسياً عندما تكون الدائرة الأفقية أفقية تماماً ، وإلا رسم مستوياً مائلاً ( هذا على إعتبار أن الشرطين الأول والثانى متوافران ) أى عندما يكون المحور الأفقى أفقى تماماً يجب أن يكون المحور الرأسى رأسى تماماً .



## ب - إجراء الضبط :

١ - نثبت التيودوليت أفقياً على بعد حوالى ١٠ متر من بناء له قمة محددة بنقطة مثل هـ شكل ( ٣١ ) . نرصد نقطة هـ ثم نربط مسامير الحركة الأفقية .



- ٢ - نخفض المنظار حول محوره الأفقى ونرصد نقطة عند قاعدة البناء على مستوى أفقى مع خط النظر مثل ب ، ويستحسن أن تكون على قامة أفقية .
- ٣ - نعكس وضع المحور الأفقى طرفاً لطرف بإدارته ١٨٠° حول المحور الرأسى . نقلب المنظار ونرصد هـ مرة أخرى ونربط مسامير الحركة الأفقية .
- ٤ - نخفض المنظار ونرصد نقطة فى مستوى خط النظر ، فإذا انطبقت الجديدة ولتكن حـ على ب ، كان الشرط متوافراً .



٥ - إذا لم يتوفر هذا الشرط فإننا ننصف المسافة  $b$  في  $s$  ، ونحرك الدائرة الأفقية بمسار الحركة البطيئة حتى يرصد خط النظر  $s$  .

٦ - نحرك المنظار إلى أعلى حتى مستوى ه ثم نرصد نقطة ع بجوار ه .

٧ - نرفع أحد طرفي المحور أو نخفضه بواسطة المسامير المحوى الموجود تحت طرفي المحور الأفقي حتى يمر المحور البصري بنقطة ه بدلاً من ع .

٨ - نكرر العمل عدة مرات فإذا توفر الشرط فإنه يخفض المنظار من هـ  
يجب أن نرصد نقطة د منتصف ب ح ، وبذا يتلاشى الخطأ .

### ح - تأثیر عدم توافره :

١ — يؤثر في الزوايا الأفقية عندما تكون النقط أعلى أو أسفل المستوى الأفقى لخط النظر ، أى تكون النقط ذات زوايا رأسية مختلفة ، ويمكن إهمال التأثير إذا كان فرق الزوايا الرأسية صغيراً .

## ٢ - يؤثر في تحديد رأسية المنشآت .

٣ — يؤثر في قياس الزوايا الرأسية . ويزداد هذا كلما كبرت الزاوية الرأسية .

### التأثير على الزوايا الرأسية :

في شكل ( ٣٢ ) ( حيث الطرف الأيمن يرتفع عن الأيسر ) .

$$\frac{\frac{2}{11}}{11} \cdot \frac{1}{\frac{11}{2}} = \frac{1}{11} = \text{جا ص}$$

( 11 ) . . . . .

جا ص = جتا م . جا ص

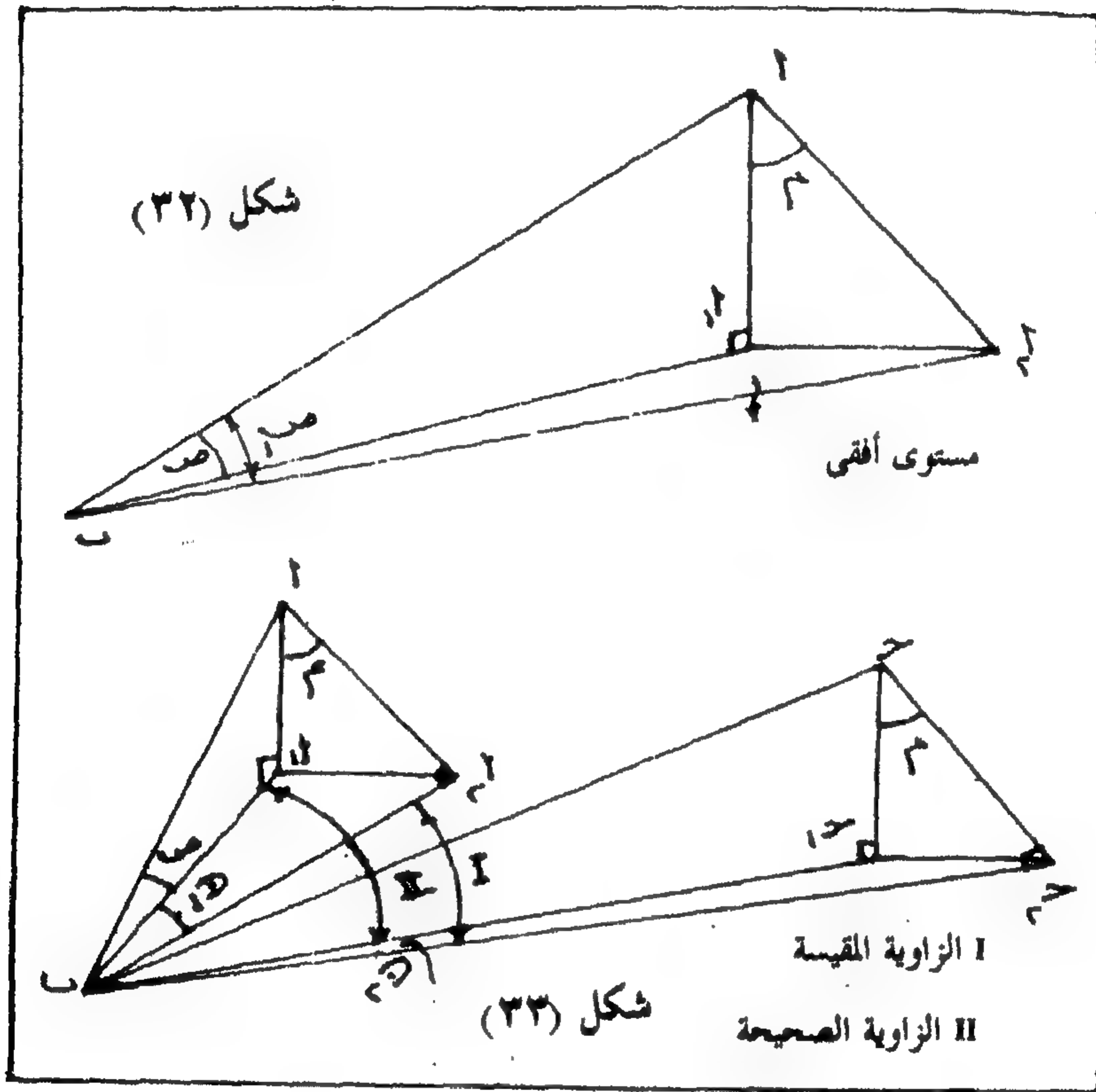
حيث ص = الزاوية الرأسية الحقيقية



ص<sub>١</sub> = الزاوية الرأسية المرصودة  
 م<sub>١</sub> = زاوية ميل المحور الأفقى عن المستوى الأفقى الحقيقى .

التأثير على الزوايا الأفقية :

فى شكل ( ٣٣ ) .



$$\frac{\frac{1}{1}}{\frac{1}{1}} \cdot \frac{\frac{2}{1}}{\frac{1}{1}} = \frac{\frac{2}{1}}{\frac{1}{1}} = \text{ظان } ١$$

..... ( ١٢ )

ظان ١ = ظام . ظاص



أو

..... ( ١٣ )

$$ن = م = ظا ص_1 \text{ تقريباً}$$

- حيث  $ن_1 =$  مقدار زاوية الخطأ في الاتجاه ب أ .  
 $م^* =$  مقدار زاوية الميل أو زاوية خطأ المحور .  
 $ص =$  القيمة الحقيقية لزاوية إرتفاع النقطة المرصودة أ .  
 $ص_1 =$  القيمة المرصودة لزاوية إرتفاع أ .

والمعادلة (١٣) تستعمل بدلاً من المعادلة (١٢) التي لا تعرف فيها قيمة ص (القيمة الحقيقية) .

وبنفس الطريقة يمكن إيجاد مقدار زاوية الخطأ في الاتجاه ب ح وهذا تكون الزاوية الأفقية الصحيحة هي  $أ_1 ب_1 ح_1$  .

$$\text{ومن الشكل } أ_1 ب_1 ح_1 = أ_2 ب_2 ح_2 + أ_3 ب_3 ح_3 - أ_4 ب_4 ح_4$$

وعموماً :

..... (١٤)

$$\text{الزاوية الأفقية الصحيحة} = \text{الزاوية المقيسة} \pm \theta_1 \pm \theta_2$$

وبذا إذا كانت زاويتا إرتفاع أ ، ح متساويتين فإن الخطأ  $\theta_1$  ،  $\theta_2$  في الاتجاهين يكونا متساويين في القيمة وفي الاتجاه ، وبذا لا ينتج خطأ في قياس الزاوية الأفقية .

(\*) يمكن تعيين زاوية ميل المحور بواسطة الميزان المركب ( Striding Level ) ويمكن الرجوع إلى ذلك في كتاب Advanced Surveying للأستاذ G. Whitmore ص ٦٥ - ٦٩ .



ويضاف الخطأ في الاتجاه أو يطرح من الزاوية الأفقية تبعاً للجدول التالي من ناحية هل الخطأ في الضلع الأيسر أو الأيمن وهل الزاوية لارتفاع أم إنخفاض وميل المحور إلى أعلى أو إلى أسفل أنظر الجدول ( ٢ ) .

جدول (٢)

الطرف الأيسر لمحور الدوران		ضلع الزاوية الأيسر		ضلع الزاوية الأيمن	
		إلى أعلى	إلى أسفل	إلى أعلى	إلى أسفل
زاوية لارتفاع		-	+	+	-
زاوية إنخفاض		+	-	-	+

في شكل ( ٣٣ ) : الزاوية الصحيحة = الزاوية المقيسة -  $\alpha_1 + \alpha_2$

مثال :

رصدت الزاوية الأفقية بين  $\alpha$  ( اليسرى ) ،  $\alpha$  ( اليمنى ) وكانت زاوية إنخفاض  $\alpha = 30^\circ$  وزاوية لارتفاع  $\alpha = 15^\circ$  . والطرف الأيمن لمحور الدوران ينخفض بمقدار  $2'$  . ما مقدار الخطأ في الزاوية الأفقية وما القيمة الصحيحة لها ؟

الحل :

$$\alpha_1 = 2' - \alpha_2 = 30^\circ \text{ ظا } \alpha_1 = 0.9''$$

$$\alpha_2 = 2' + \alpha_1 = 32'' \text{ ظا } \alpha_2 = 15^\circ$$



الزاوية الأفقية الصحيحة = الزاوية المرصودة —  $\delta_1 + \delta_2$  ( طبقاً للجدول )  
 = الزاوية — ( —  $0.9''$   $1'$  ) +  $32''$   
 = الزاوية المرصودة +  $41''$   $1'$

الشرط الرابع — أنطباق أصفار الورنيات على أصفار الدائرة الرأسية عندما يكون خط النظر أفقياً ( AA يوازي ZZ )

لضبط الخطأ يتوقف العمل على موضع ميزان التسوية ، فهو إما أن يكون فوق المنظار متصلاً به أو مركباً على الذراع المتصلة بالورنيتين الرأسيتين .

١ — إذا كان ميزان التسوية فوق المنظار :

ضبطه :

هذا الضبط تضمن خلاله ضبط موازاة خط الإنطباق مع محور ميزان تسوية المنظار . نضع التيودوليت في منتصف المسافة بين قائمتين ونحسب فرق المنسوب بينهما ، بعد ضبط ميزان التسوية في منتصف مجراه . ننقل التيودوليت بالقرب من إحدى القائمتين ونعيد الرصد عليها مرة أخرى بعد تسوية ميزان التسوية تماماً ، فإذا كان الفرق بين المنسوبين الأول مثل الثانی كان الشرط صحيحاً ، وإلا فإننا نحسب مقدار القراءة الصحيحة على القامة البعيدة ( طريقة الوتدين ) ثم نطبق الشعرات الأفقية للمنظار على هذه القراءة ، ونلاحظ عدم تحريك حامل الشعرات ، وإنما يكون التصحيح بإدارة مسمار الحركة البطيئة الرأسية حتى تقع الشعرة الأفقية على القراءة الصحيحة على القامة البعيدة . بعد ذلك نصحح ميزان التسوية ونجعله أفقياً بالمسمار الخاص به ، ثم نحرك ذراع الورنيتين حتى نقرأ صفراً على الدائرة الرأسية . بذلك يتم التصحيح .

تأثيره :

يسبب خطأ في قياس الزوايا الرأسية .



تلافيه :

بإضافة خطأ الصفر أو طرحه من الزاوية الرأسية حسب الحالة ( أنظر قياس الزوايا الرأسية فيما بعد ) .

٢ — إذا كان ميزان التسوية فوق ذراع حامل الورنيات

١ — ضبطه :

١ — ضبط الجهاز أفقياً بميزان تسوية الدائرة الأفقية ثم نجعل ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية أفقياً كذلك بواسطة المسمار المتصل بالذراع الحامل للميزان والورنيتين .

٢ — نطبق صفر الدائرة الرأسية على صفري الورنيتين بواسطة مسمار الحركة الرأسية البطيئة للمنظار . نأخذ قراءة على قامة تبعد حوالى ١٠٠ متر تقريباً من الجهاز ثم نفك مسمار ربط الحركة الرأسية للمنظار وتلف المنظار ١٨٠° حول محوره الأفقى بحيث ينطبق صفر الدائرة الرأسية على صفر الورنيتين مرة ثانية . ندير الأليداد ١٨٠° حول المحور الرأسى للجهاز مع ملاحظة أن ميزان التسوية المتصل بالدائرة الأفقية لم يحدث به أى تغير ما .

٣ — نأخذ القراءة على القامة الأولى مرة ثانية ، فإذا تساوت القراءتان كان الميزان مضبوطاً ، وإلا نوجه المنظار ، بأستعمال مسمار الحركة الرأسية البطيئة ليقراً متوسط القراءتين .

٤ — نحرك الورنيتين بالمسمار الخاص بهما حتى تعود القراءة صفراً على الدائرة الرأسية ، عند ذلك نجد أن ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية قد صار غير مضبوط ، فنصححه بمسمار الضبط المتصل به مباشرة . ويحسن تكرار العمل للتأكد من تلاشى الخطأ .

تلافيه :

يمكن القياس مع وجود هذا العيب بأن نوجد زاوية إرتفاع الهدف ثم ندير



الجهاز ٥١٨٠ حول محوره الأفقى وكذلك حول محوره الرأسى ، ثم نوجه للهدف مرة أخرى وتقرأ الزاوية ( وجه متيامن ومتياسر ) ثم نأخذ متوسط القراءتين فى الحالتين فنتتج الزاوية الصحيحة ، لأن خطأ الصفر فى الحالة الأولى عكس الخطأ فى الحالة الثانية مقداراً وإشارة .

### قياس الزوايا الرأسية وخطأ الاستدلال

تقاس زوايا الإرتفاع والإخفاض من المستوى الأفقى لدوران المنظار وتميز زوايا الإرتفاع بالعلامة ( + ) وزوايا الإخفاض بالعلامة ( - ) . ويعين المستوى الأفقى بواسطة ميزان التسوية المثبت إما فوق المنظار أو فوق حامل الورنيات .

ومن الأفضل دائماً عند قياس الزوايا الرأسية أن نبدأ أولاً بتحقيق الشروط الدائمة الخاصة بضبط الدائرة الرأسية وبعد ذلك ، إما أن يصحح الخطأ فى الجهاز ، أو نعين قيمة الخطأ وإشارته ، ونصحح الأرصاد حسابياً ، ويعرف هذا الخطأ بخطأ الاستدلال أو خطأ الإبتداء ( Index-Error ) .

#### الحالة الأولى : ميزان التسوية فوق المنظار :

١ — نثبت الجهاز فوق النقطة ونستوفى شروط الضبط المؤقتة تماماً كما نفعل عند رصد الزوايا الأفقية .

٢ — نضبط أفقية ميزان التسوية الموضوع فوق المنظار وإدارة مسمارى حركة المنظار . نقرأ الورتيتين الرأسيتين ، فإذا كانت القراءة صفراً كان الجهاز مضبوطاً ، أما إذا بينت قراءة أخرى غير الصفر فأمامنا إحدى ثلاث طرق :

١ — تدوين هذه القراءة وإعتبارها خطأ الصفر كما ذكرنا . هذا الخطأ يضاف أو يطرح حسب الزاوية المقيسة ، فإذا كان الخطأ والزاوية المقيسة فى ناحية واحدة من الصفر طرح الخطأ ، وإذا كانا فى ناحيتين مختلفتين أضيف إلى الزاوية .



ب — نضبط الورنيات بتحريك مسمار الضبط الخاص بها حتى نقرأ صفراً ( ميزان التسوية فوق المنظار مازال أفقياً لم نحركه ) . نرفع المنظار ونرصد النقطة المطلوبة ونقرأ الزاوية فتكون هي الزاوية الصحيحة المطلوبة .

ح — نرصد مرة والجهاز متيامن وأخرى والجهاز متياسر فتكون النتيجة أن خطأ الصفر لو كان في الوضع المتيامن إلى أسفل مثلاً فإنه يكون إلى أعلى في الوضع المتياسر ، وبأخذ المتوسط يضع الخطأ .

الحالة الثانية : ميزان التسوية فوق حامل الورنيات أو مثبت على الدائرة الرأسية ( كما في معظم التيودوليتات الحديثة ) :

١ — نضبط الجهاز أفقياً فوق حامله ونجعل الجهاز متياسراً ونضبط ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية ، أى نجعل الفقيعة في منتصف مجراها باستعمال مسمار ضبط حاملة الورنيتين .

٢ — نرفع المنظار ونرصد النقطة المطلوب إيجاد زاوية إرتفاعها أو إنخفاضها مع استعمال مسمارى الحركة السريعة والبطيئة للمنظار ونقرأ الورنيتين مرة أخرى ، فتكون زاوية الإرتفاع المقروءة هي الزاوية بين الخط الواصل بين صفري المقياس الرأسى ( صفر° ، ١٨٠° ) والخط الواصل بين سهمى الورنيتين .

من شكل ( ٣٤ ) : هذه الزاوية  $\beta + \alpha$

حيث  $\alpha$  هي زاوية الإرتفاع الحقيقية .

$\beta$  ، الخطأ في موازنة صفر الورنيتين لمحور ميزان التسوية الرأسى وهذا الخطأ هو ( خطأ الصفر ) .

فاذا أدركنا الجهاز ١٨٠° حول محوره الرأسى فإن الجهاز يظل متياسراً ومازال خطأ الصفر كما هو قدره  $\beta$  .

٣ — نقلب المنظار ١٨٠° حول محوره الأفقى ، وبذا يصبح الجهاز متيامناً



ونرصد نفس النقطة المطلوبة وتكون قراءة الورنيات  $\omega = \beta$  ( شكل ٣٥ ) .

٤ — نأخذ متوسط الزاويتين فنحصل على  $\omega$  الزاوية الصحيحة .

٥ — ندون الأرصاد كما في جدول ( ٣ ) .

حساب قيمة خطأ الاستدلال وأشارته في الحالة الثانية :

١ — نرصد نقطة مرتفعة واضحة بعد تسوية الجهاز للرصد ثم نضبط فقيعة ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية في منتصف مجراها بواسطة المسمار الخاص بها .

٢ — نأخذ قراءتي الورنيتين ( أو تؤخذ مباشرة في حالة التيودوليت الحديث ) ونحسب المتوسط لهما ، وليكن المتوسط في هذه الحالة والجهاز متيامن ،  $20'' 43' 53''$  .

٣ — نكرر العمل والجهاز متياسر ونفرض أن متوسط القراءتين  $40'' 46' 53''$  .

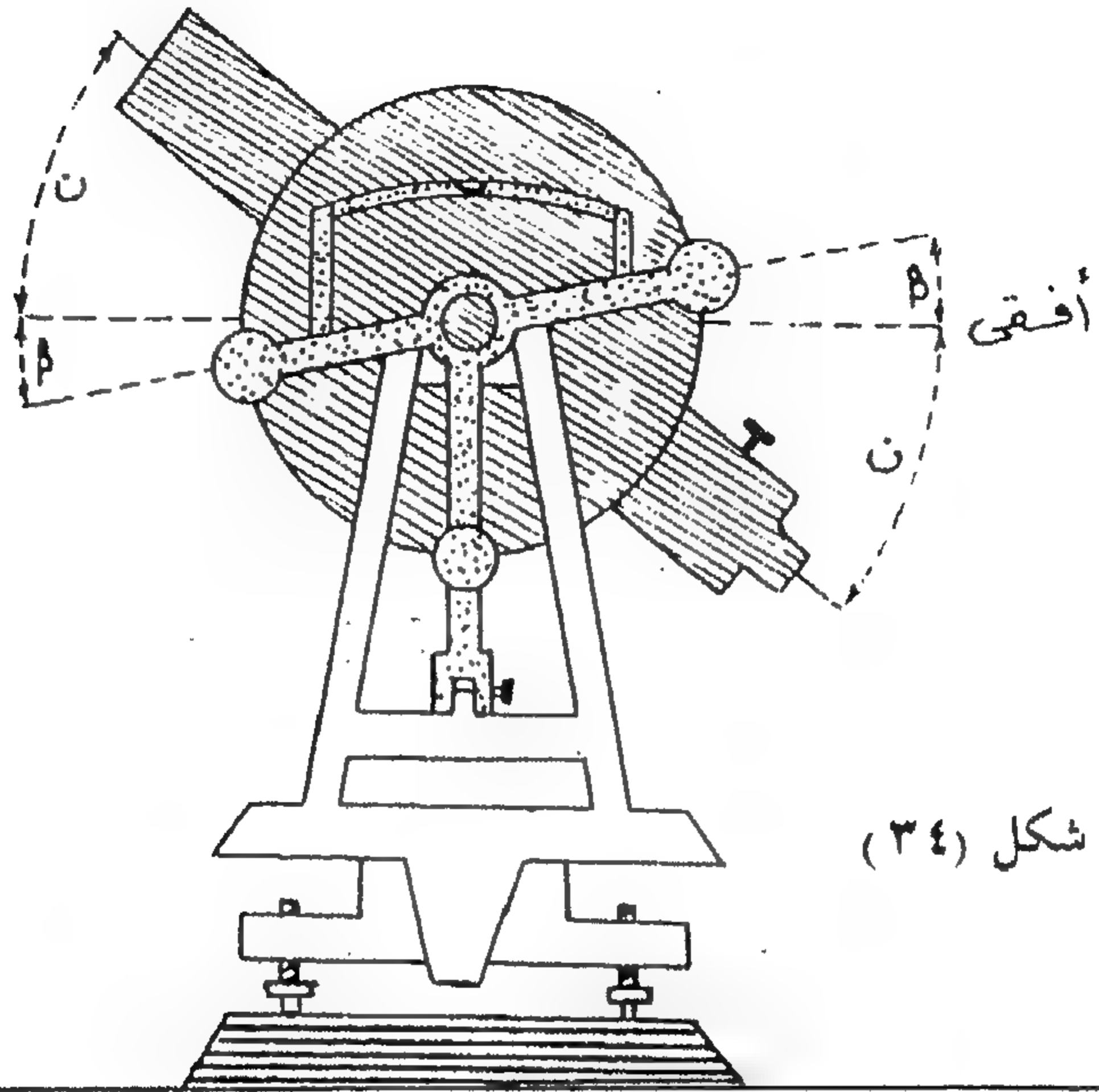
∴ ضعف خطأ الاستدلال = الفرق بين المتوسطين  $20'' 43' 53''$  وخطأ الاستدلال  $= 40'' 1'$  .

٤ — لتصحيح الزوايا الرأسية يضاف لكل من الأرصاد المأخوذة والجهاز متيامن  $40'' 1'$  ويطرح هذا المقدار من الأرصاد المأخوذة والجهاز متياسر .

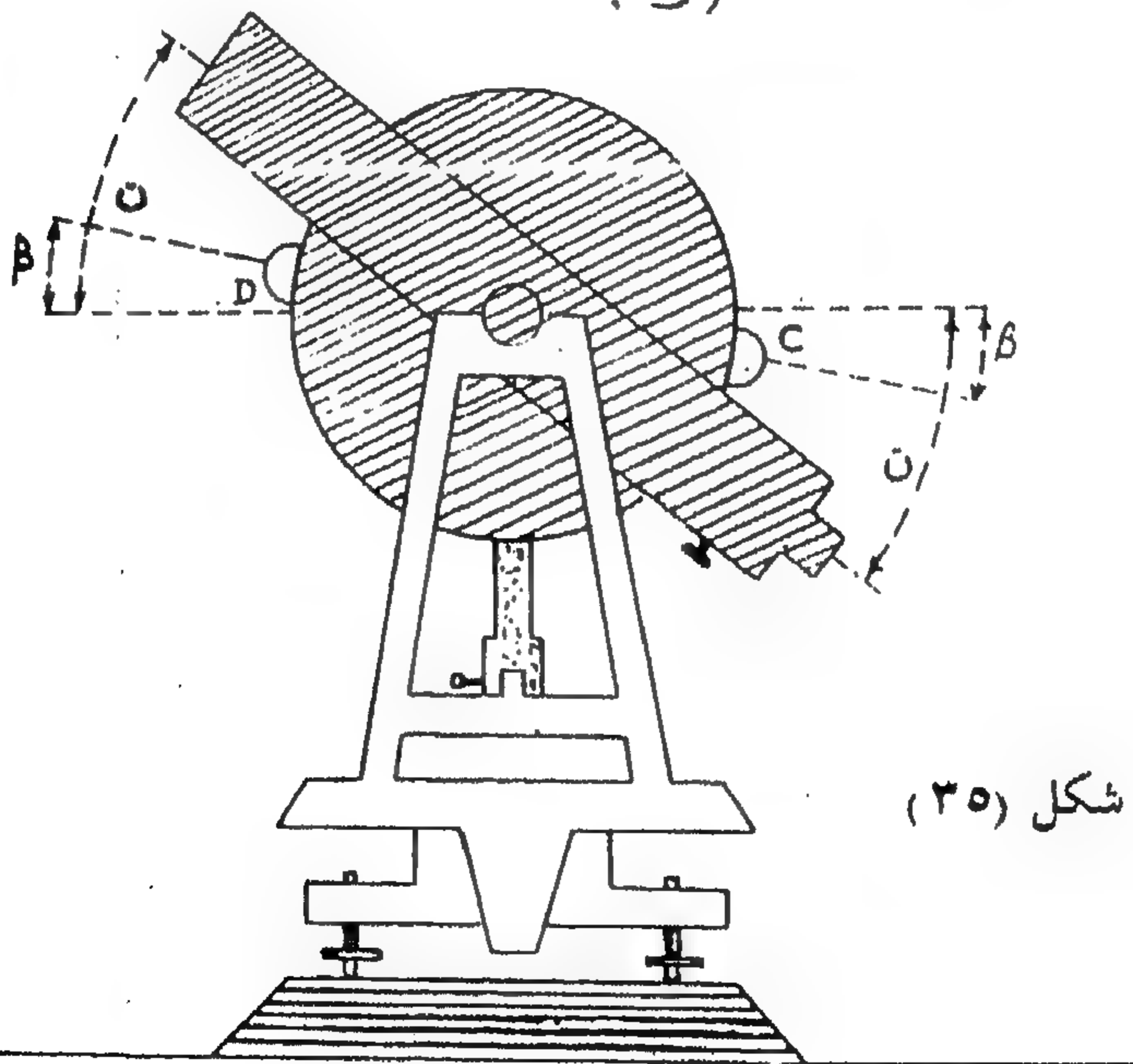
ومن الواجب مراعاته كذلك عند قياس الزوايا الرأسية معرفة طريقة تدريج الدائرة الرأسية للجهاز ، وهذه الدائرة قد يبدأ صفر التقسيم فيها من خط الأفق ، كما قد يبدأ في البعض الآخر من خط السميت ، وكذلك قد يكون بالدائرة نقطة ابتداء واحدة لترقيم المقياس ، وقد يكون بها موضعان لبدء ترقيم المقياس وأيضاً اتجاهان لتدريجه .



(المنظار وجه أيسر)



(وجه أيمن)





جدول ( ٣ )  
قياس الزوايا الرأسية

ارتفاع أو انخفاض	الزاوية الرأسية	متباين		متباين		النقطة المصدرة	نقطة الرصد ( الجهاز )
		ورنية (D)	ورنية (C)	ورنية (D)	ورنية (C)		
ارتفاع	٥٢٢ ٠١ ٥٠	٠٢ ٠٠	٥٢٢ ٠٢ ٢٠	٠١ ٢٠	٥٢٢ ٠١ ٤٠	١	٢
ارتفاع	٣٧ ٤٦ ٥٥	٤٧ ١٠	٣٧ ٤٧ ٢٠	٤٦ ٢٠	٣٧ ٤٦ ٥٠	٢	
انخفاض	١٤ ١٥ ٣٥	١٥ ٥٠	١٤ ١٦ ٠٠	١٥ ١٠	١٤ ١٥ ٢٠	٣	
ارتفاع	٠٨ ٢١ ٤٥	٢٢ ٠٠	٠٨ ٢٢ ٢٠	٢١ ٠٠	٠٨ ٢١ ٤٠	٤	



## II — الضبط الدائم

للعيوب التي لا يمكن ضبطها وتصحيحها إلا في المصنع

تنشأ هذه العيوب غالباً من الصناعة ولا يتيسر لنا تصحيحها إلا في المصنع وهذه العيوب هي :

العيب الأول — عدم ثبات أجزاء التيودوليت عند ربط جميع مسامير الحركة (عدم مرونة الجهاز) :

ومعنى هذا أن الجهاز إذا تأثر بمؤثر خارجي فإنه لا يعود إلى حالته الطبيعية بعد زوال المؤثر وينشأ هذا عن نعومة المسامير وكثرة وسوء الاستعمال .

ولاختبار ذلك نثبت الجهاز فوق حامل تام التماسك ونوجه المنظار إلى أى هدف ثابت ونرصده على تقاطع الشعرات . نربط جميع مسامير الحركة ، ونضغط على العينية ضغطاً خفيفاً مرة في الاتجاه الأفقي وأخرى في الاتجاه الرأسى وذلك أثناء النظر خلالها ، فإذا لم تتحرك نقطة تقاطع الشعرات عن الهدف أو تحركت عنه وعادت فأنطبقت عليه على أثر إزالة الضغط كان الشرط متوافراً ، وإلا يرسل إلى المصنع .

ولتحاشي هذا العيب لا تضغط على أى جزء من أجزائه أثناء الرصد أو عدم لمسها إلا للضرورة القصوى .

العيب الثاني — عدم دوران الجهاز حركة دائرية تماماً بسبب عدم انتظام استدارة قطاع المحور الرأسى .

يرجع ذلك إلى تآكل المحور تآكلاً غير منتظم ، وبذلك يكون نصف قطر الإنحناء متغير ولا يساوى نصف قطر الحافة الأفقية ، وقد نتلافى هذا العيب بالقراءة على عدة أقواس من الدائرة وأخذ المتوسط .



### العيب الثالث — عدم انطباق محور الحافة الأفقية على محور دوران قرص الورنيات :

نتيجة لهذا العيب يحدث خطأ ينشأ من دوران الحافة الأفقية في مستو أفقى وقرص الورنيات في مستو مائل أو العكس .

نثبت الجهاز في أرض صلبة ثم نربط مسمار الحافة الأفقية ونضبط ميزان تسويتها كما في شروط الضبط الدائم . نفك مسمار الحافة الأفقية ونربط مسمار القرص ونضبط ميزان التسوية ثم نديره ، فإذا ثبتت الفقيعة في المنتصف كان المحوران منطبقين أو متوازيين كما في شكل ( ٣٦ ) وإذا ترحزحت كان أحد المحورين مائلاً كما في شكل ( ٣٧ ) .

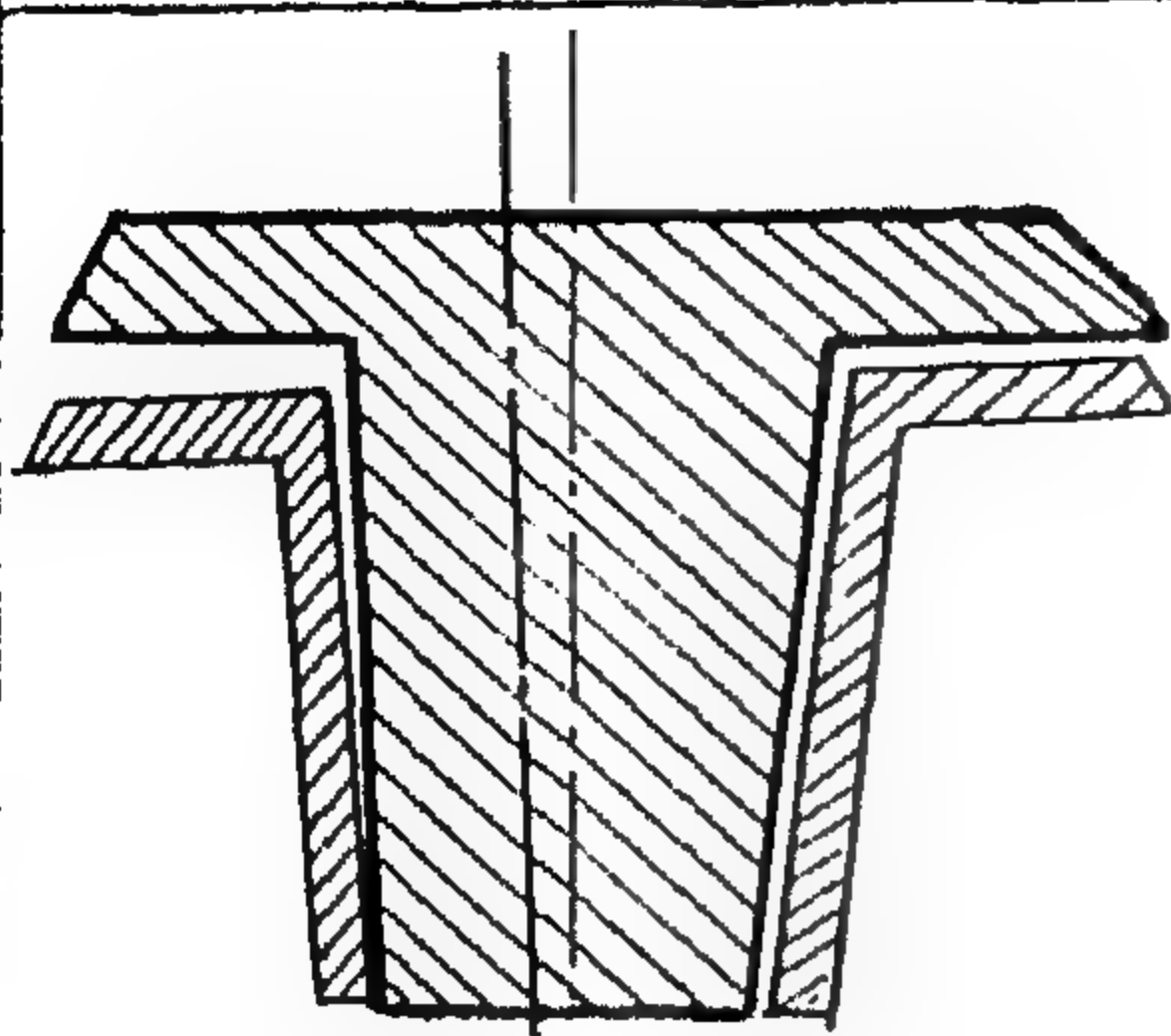
### العيب الرابع — عدم انطباق مركز دوران الحافة الأفقية ودائرة الورنيات :

ونسماه أيضاً ( خطأ عدم التركزز ) ونتيجة لهذا العيب نحصل على قراءات خطأ على كل من الورنيتين ونتأكد من خلو الجهاز من هذا الخطأ إذا ظل فرق قراءتى الورنيتين ثابتاً مهما تغير وضعهما على الدائرة الأفقية وإلا فإننا نوجد قيمة الخطأ كما يلي :

نفرض أن ( ا ، ب ) شكل ( ٣٨ ) هما موضعاً الورنيتين عندما يكون خط النظر في الوضع ح د . فإذا أدير خط النظر حول ( ن ) مركز دوران القرص العلوى إلى أن يأخذ الوضع ( ح د ن د ) صانعا زاوية ( س ) مع اتجاهه الأول ، فإن الورنيتين تتحركان إلى الوضع ( ا ، ب ) وتكون الزاوية الحقيقية التى تحركتها الورنية ا = ا ن ا = س ولكن هذه الزاوية تقرأ على الحافة الأفقية بالزاوية ا م ا = س — ه وتقرأ الورنية ب الزاوية ب م ب بالقيمة ٥١٨٠ + س + ه ، وكان الواجب أن تكونا س ، س + ٥١٨٠ فقط .

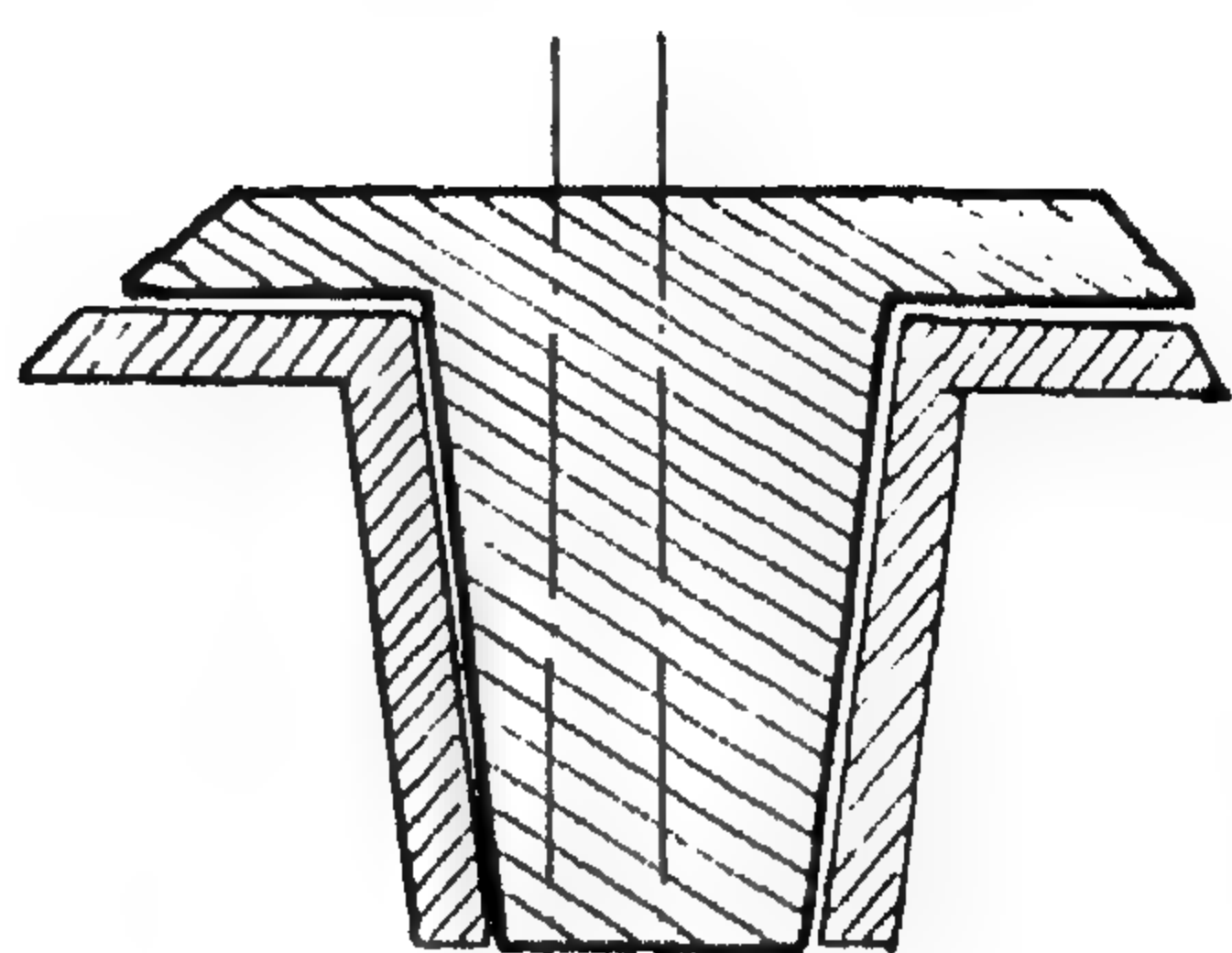
$$\begin{aligned} \text{الفرق بين القراءتين} &= ( ٥١٨٠ + س + ه ) - ( س - ه ) \\ &= ٥١٨٠ + ٢ ه \end{aligned}$$





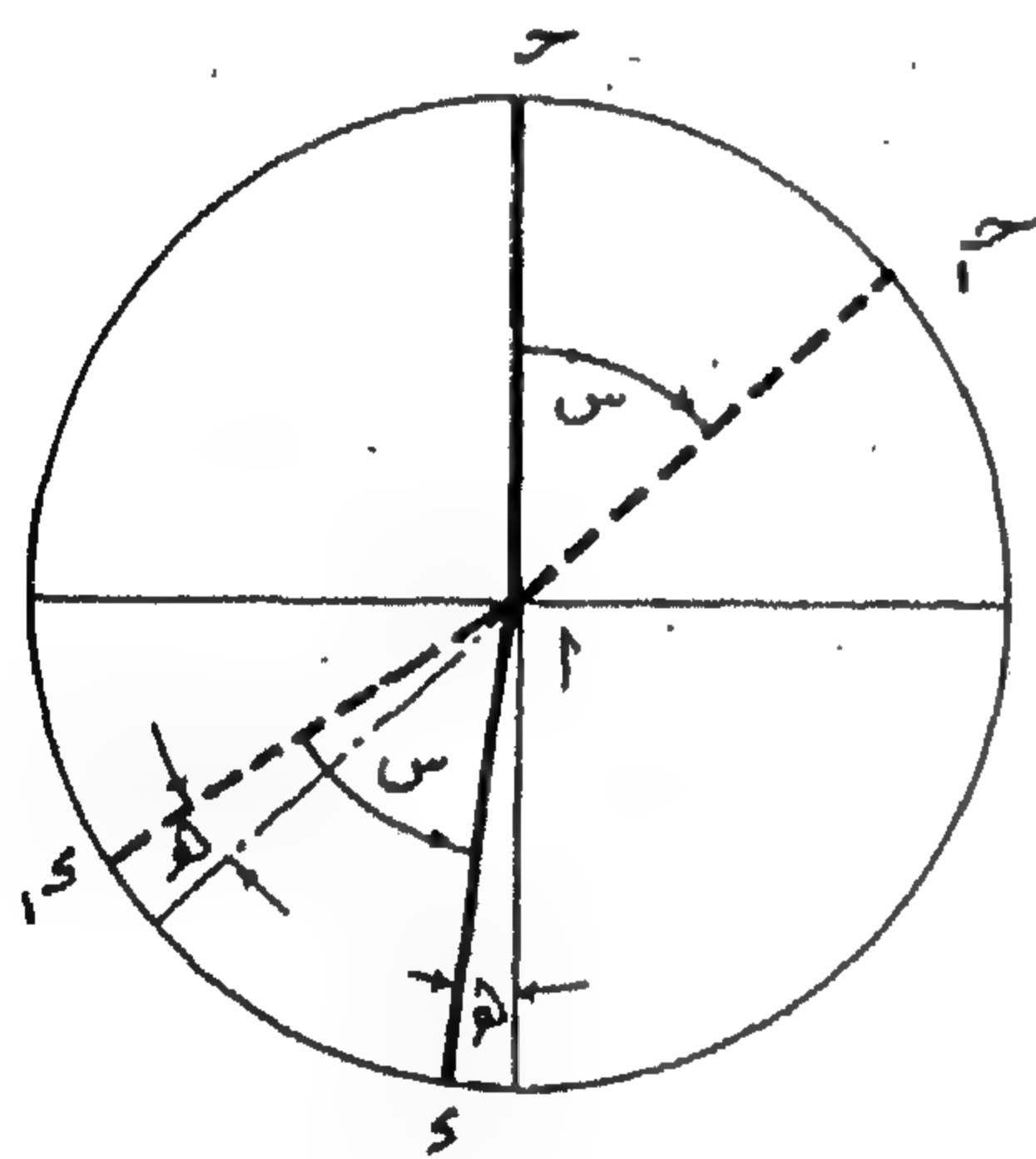
محور القصرين مائلان

شكل (٣٧)

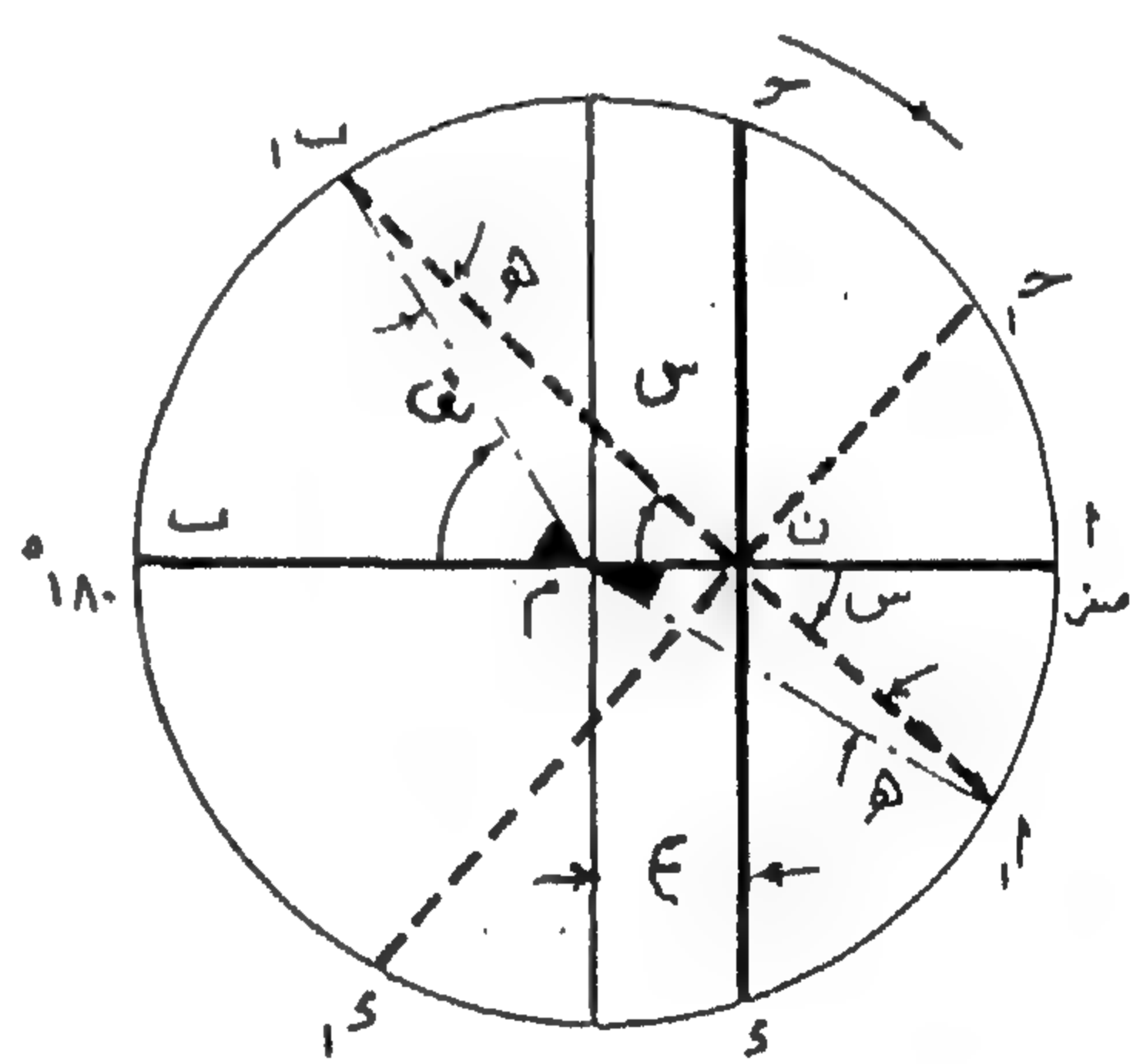


محور القصرين متوازيان

شكل (٣٦)



شكل (٣٩)



الزوايا المقرونة

شكل (٣٨)



وكان الواجب أن يكون الفرق ١٨٠° فقط .

تلافي الخطأ : يؤخذ متوسط قراءتي الورنيتين A, B ( بعد طرح ١٨٠° من قراءة الورنية B ) وبذا .

$$\frac{(\text{س} - \text{هـ}) + (\text{١٨٠} - \text{هـ} + \text{س} + \text{١٨٠})}{2} = \text{الزاوية الحقيقية}$$

$$= \text{متوسط قراءتي الورنيتين} = \text{س}$$

$$\epsilon = \text{خطأ التمرکز}$$

فمن المثلث م هـ

$$\frac{\epsilon}{\text{جا هـ}} = \frac{\text{س}}{\text{جا س}}$$

..... (١٥)

$$\begin{aligned} \text{جا س} &= \frac{\text{جا هـ}}{\epsilon} \cdot \text{س} \\ \epsilon &= \frac{\text{جا هـ}}{\text{جا س}} \cdot \text{س} \end{aligned}$$

ويكون الخطأ أكبر ما يمكن عندما تكون س = ٩٠°

..... (١٦)

$$\begin{aligned} \frac{\epsilon}{\text{س}} &= (\text{أكبر ما يمكن}) \text{ جا هـ} \\ \text{هـ} &= (\text{أكبر ما يمكن}) \cdot \frac{\epsilon}{\text{س}} \end{aligned}$$



العيب الخامس — الورتيتان لا يقع صفراهما على قطر واحد :

وهذا يعنى أن الفرق بين قراءتى الورتيتين لا يكون  $0^\circ 18'$  شكل ( ٣٩ )

نفرض أن الوضع الأول للورتيتين هو ( ح ا س ) والوضع الثانى بعد التوجيه ( ح ا س ) وبذلك فإن الفرق بين قراءتى الورتيتين لا يساوى  $0^\circ 18'$  ففى الوضع الأول كانت القراءة على الورتية الأولى صفراً والثانية  $0^\circ 18' + هـ$ .

وفى الوضع الثانى ، قراءة الورتية الأولى ( س ) والثانية (  $0^\circ 18' + هـ + س$  ) .

وبذلك فإن فرق القراءتين للورتية الأولى = س وكذلك بالنسبة لقراءتى الورتية الثانية .

أى أننا بإيجاد الفرق بين قراءتى الورتية الواحدة نحصل على الزاوية الصحيحة ، ولا يكون لهذا العيب تأثير على الزوايا طالما أننا نستعمل فرق القراءتين للورتية نفسها ، أى لا نطرح القراءة الثانية مثلاً للورتية الثانية من القراءة الأولى للورتية الأولى .

العيب السادس — عدم تساوى التدرج على الدائرة الأفقية والرأسية :

على الرغم من استعمال الآلات الدقيقة فى تقسيم الدائرة الأفقية والرأسية نجد أن هذه الأقسام ليست متساوية تماماً . ويمكن التغلب على هذا العيب بالقياس على أقواس مختلفة من القرص الأفقى . ويلاحظ أنه لا يمكن أخذ أقواس كثيرة على الدائرة الرأسية وإنما يكتفى بأخذ وجه متيامن ومتياسر .

ويلاحظ أنه عند قراءة الوجهين نتخلص من عيين من شروط الضبط الدائم وهما :

١ — عدم تساوى إرتفاع حاملى المنظار . أى ميل المحور الأفقى للمنظار على المحور الرأسى لدوران الجهاز (  $VV \perp HH$  ) .



٢ — عدم إنطباق خط النظر على المحور البصرى للمنظار (  $HH \perp ZZ$  ) .  
وهناك عيوب أخرى لا تؤثر كثيراً فى الرصد ونتائجه ولا دخل للراصد فيها  
ولأنما تراعيها المصانع .



## أمثلة محلولة

مثال (١) :

تبدوليت ينخفض فيه الحامل الأيسر للمحور الأفقى عن الحامل الأيمن بحيث كان ميل هذا المحور الأفقى ١٢ دقيقة ، رصدت به زاوية أفقية  $\alpha$  فكانت قيمتها  $14^\circ 37'$  أوجد القيمة الصحيحة لهذه الزاوية إذا كانت زاوية ارتفاع  $\alpha = 72^\circ$  وزاوية إنخفاض نقطة  $\alpha = 22^\circ$  . متى يتلاشى هذا الخطأ فى الزاوية الأفقية وضح مع الرسم الدقيق ؟

الحل :

الزاوية الأفقية الصحيحة = الزاوية المرصودة  $+ \alpha_1 - (\alpha_2 - \alpha_3)$

$$\alpha_1 = \text{م ظا ص}_1 = 12' \text{ ظا } = 0.209 \times 12 = 2.508$$

$$= 56'' 36'$$

$$\alpha_2 = \text{م ظا ص}_2 = 12' \text{ ظا } = 0.209 \times 12 = 2.508$$

$$= 51'' 0.4'$$

∴ الزاوية الأفقية الصحيحة =  $14^\circ 37' + 56'' 36' + 51'' 0.4' = 14^\circ 47' 47''$

$$= 14^\circ 47' 47''$$

مثال (٢) :

رصدت الزاوية الأفقية بين نقطتين فكانت  $17^\circ 44'$  وعند تحقيق الشرط الأول للضبط الدائم لوحظ أن الفقاعة تحركت ٦ أقسام عند دوران الجهاز  $180^\circ$  حول المحور الرأسى حساسية الميزان  $30''$  . ما هى قيمة الزاوية الأفقية الصحيحة ؟

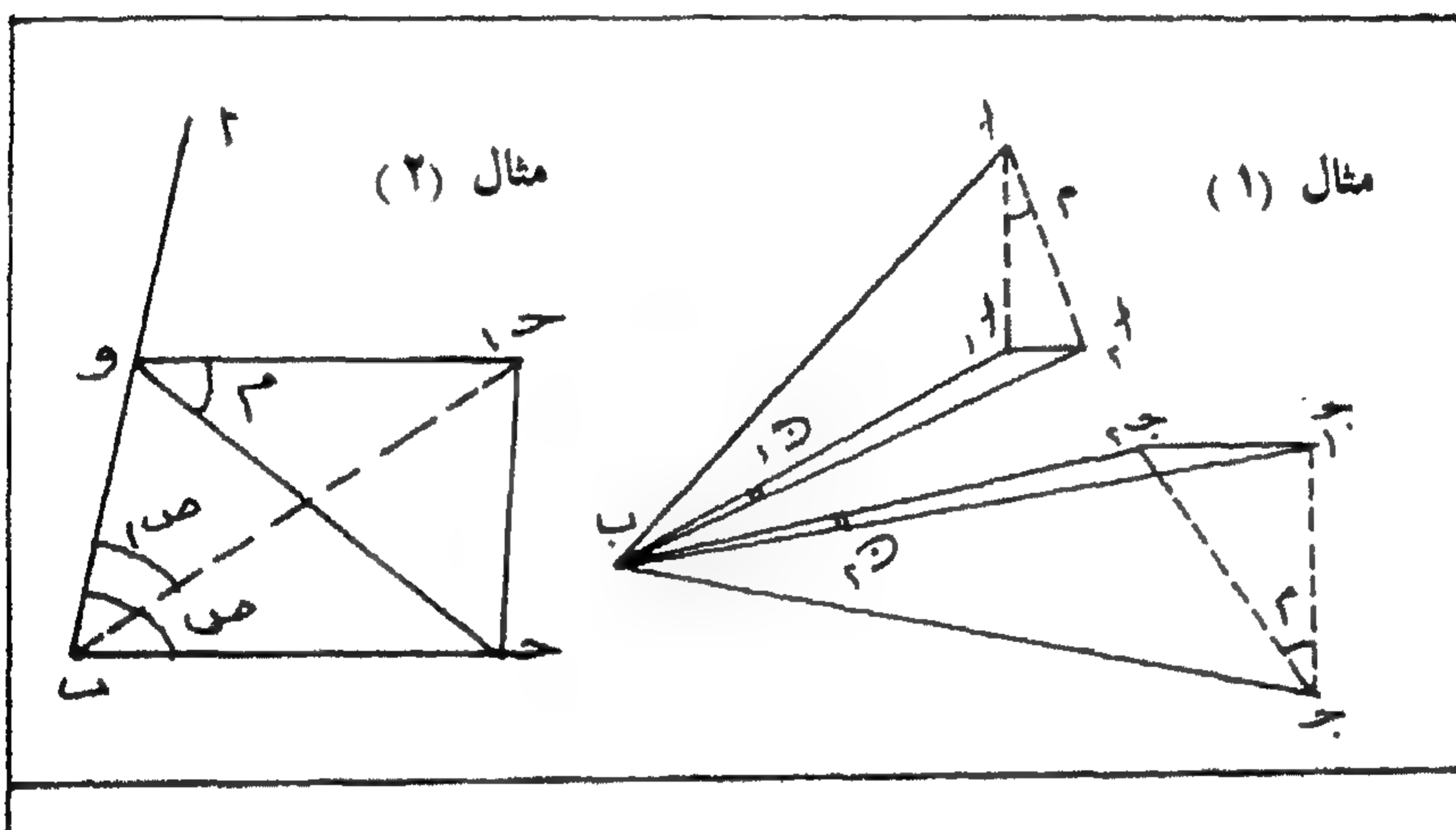


**الحل :**

$$1 \quad "3. = "3. \times 3 = 9$$

$$\text{ظا ص} = \frac{\text{ح و}}{\text{و ب}} = \frac{\text{ح و}}{\text{و ب}} \cdot \frac{\text{ح و}}{\text{و ب}} = \text{جتا م} \cdot \text{ظا ص}$$

= جتا ۳۰ " ۱ ' ظا ۱۷ ' ۴۴ ° ومنها يمكن إيجاد ص .



مثال (۲) :

١ - عند التحقق من عدم إزاحة الشعرة الرأسية عن موضعها كان الفرق بين نقطتين مرصودتين في المتيامن والمتياسر لجهاز يبعد بمقدار ١٠٠ متر هو ٤٠ سم . عين زاوية إرتفاع المنظار عند حدوث خطأ قدره ٥٢,٥ " ٦ ' في خط النظر . اعتبر  $Q = ٢٠٦٢٥٠$  .

ب — في جهاز تيودوليت يميل محور أنبوبة التسوية الخاص بالدائرة الأفقية بمقدار  $3^\circ$  قياست به زاوية أفقية فكانت  $20' 44''$ . عين مع البرهان القيمة الصحيحة لهذه الزاوية .



الحل :

$$\frac{1}{1000} = \frac{10}{100 \times 100} = \text{هـ (1)}$$

$$\text{هـ} = \frac{206250}{1000} = 206,250$$

$$\text{و} = \text{هـ} \text{ قاط}$$

$$\text{و} = 412,5 = 52,5 + 60 \times 6$$

$$412,5 = 206,25 \text{ قاط}$$

$$\text{قاط} = \frac{412,5}{206,25} = \frac{\text{و}}{\text{هـ}}$$

$$\text{جتا ط} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore \text{ط} = \text{زاوية إرتفاع المنظار} = 60^\circ$$

$$\text{( ب ) ظا الصحيحة} = \text{جتا الميل} \times \text{ظا الزاوية المقيسة} .$$

$$= \text{جتا } 3^\circ \text{ ظا } 20' = 0,9986$$

$$= 0,977 \times 0,9986 = 0,9756$$

$$\text{الزاوية الصحيحة} = 39'' 17' 0,9756$$

مثال ( ٤ ) :

وضع تيودوليت على مسافة ١٠ متر من حائط برج قياست زاوية إرتفاع أعلى نقطة فيه فكانت = ٥٥°. فإذا كانت هذه النقطة قد رصدت والجهاز مرة متيامن ومرة متياسر وتحرك المنظار في الحالتين من أعلى إلى أسفل حتى مستوى خط النظر فقطع قامة أفقية بجوار الحائط في نقطتين تبعدان عن بعض بمقدار ٣٠ سم أوجد زاوية ميل المحور الأفقى لدوران المنظار .



الحل :

$$\text{ميل المحور الأفقى} = م = \text{ظا} - \frac{٠,١٥}{١}$$

$$\text{الأرتفاع ع} = ١ = ١٠ \text{ ظا } ٥٥٠$$

$$= ١,١٩١٨ \times ١٠ = ١١,٩١٨ \text{ متراً}$$

$$م = \text{ظا} - \frac{٠,١٥}{١١,٩١٨} = \text{ظا} - ٠,٠١٢٥٨٦$$

$$= ١٦'' ٤٣'$$

$$\text{أو ظا ه} = \text{ظا م ظا ص}$$

$$\text{ظا م} = \frac{١٥}{١,١٩١٨ \times ١٠٠٠} = ٠,٠١٢٥٨$$

$$\therefore م = ١٦'' ٤٣'$$

مثال (٥) :

وضع تيودوليت على أرض مستوية في نقطة أ ثم رصدت نقطة ب على بعد ١٠٠ متر وكانت الآلة متيامنة . أدير المنظار حول المحور الأفقى ورصدت نقطة ح في الناحية الأخرى على بعد ١٠٠ متر من أ . أعيد الرصد على ب والآلة متياسرة ثم أدير المنظار حول المحور الأفقى ورصدت نقطة جديدة د على نفس البعد من أ . فإذا كان ح د = ٣٠ سم فما مقدار زاوية الخطأ في انحراف خط النظر .

الحل :

$$\text{ح أ د} = \epsilon$$

$$\epsilon = \text{أمثال زاوية انحراف خط النظر}$$

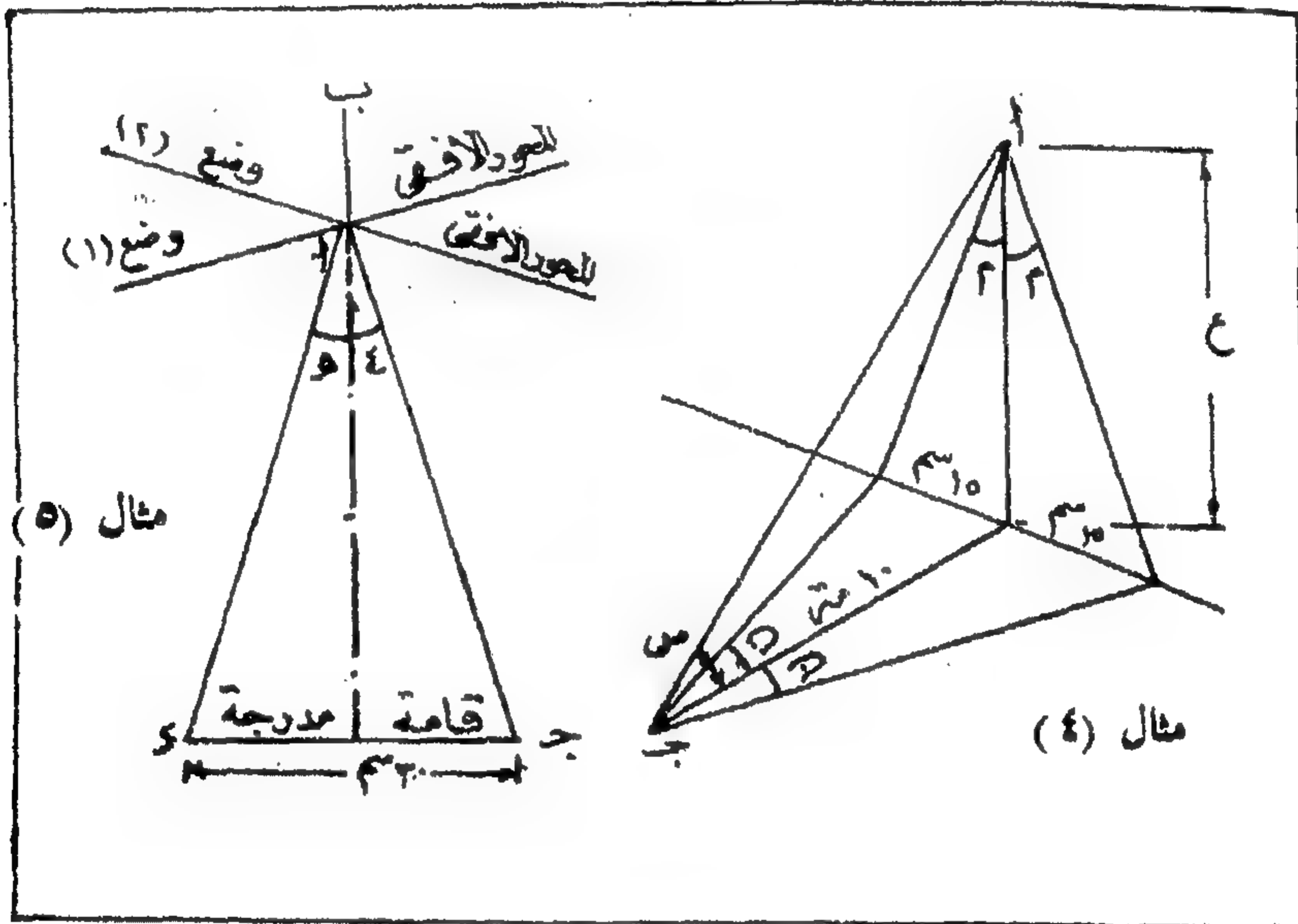
وبما أن ح د صغيرة جداً بالنسبة للمسافة ( ١٠٠ متر ) .



$$\begin{aligned} \therefore 3438 \times \frac{30}{10,000} &= 10.32 \\ &= 10.32' \\ &= 2'' 35 = \text{هـ} \end{aligned}$$

ويمكن حل المثلث ا و هـ .

$$\begin{aligned} \text{ظا ٢ هـ} &= \frac{10.32}{100} = 0.1032 \\ &= 2'' 35 = \text{هـ} \end{aligned}$$



مثال (٦) :

في تيودوليت قطر دائرته الأفقية خمس بوصات أخذت قراءة الورنية ا فكانت ١١ ٤٠ ٥٠٠ بينما كانت قراءة الورنية ب = ١٢ ٤٠ ٥١٨٠ . أحسب مقدار الاختلاف المركزي الناتج من عدم إنطباق الدائرة الأفقية ودائرة الورنيات .



الحل :

من الشكل

$$(1) \dots \quad \text{الزاوية الحقيقية} = س = ه + ٤٠ " ' ١١$$

( س خارجة عن المثلث ا ح م )

$$(2) \dots \quad \text{وكذلك} س = ٤٠ " ' ١٢ - ه$$

( س داخل المثلث م ح ب )

بطرح (٢) من (١)

$$٢ ه = ١ ' \quad ه = ٣٠ "$$

ونظراً لصغر الزاوية ه يمكن إعتبار ( ح م ) قوس من دائرة مركزها ب ،  
نصف قطرها س .

$$س . ه = ح م = \text{الاختلاف المركزي} \\ \frac{٣,١٤ \times ٣٠}{١٨٠ \times ٦٠ \times ٦٠} \times ٢٥,٤ \times ٢,٥ = ح م$$

$$= ٠,٠٠٩ مم$$

والطريق الصحيح هو حل المثلث ب م ح ( أو المثلث ح ا م ) .

$$\therefore \frac{م ح}{جا س} = \frac{ب م}{جا ه} \\ \frac{\text{الاختلاف المركزي}}{جا ه} = \frac{س}{جا س}$$

ومنها يمكن إيجاد الاختلاف المركزي لأن كل العناصر الأخرى معلومة لأن  
س ، ه معلومة . وبجمع المعادلتين ، ٢ س = ٢٠ " ' ٢٤ ومنها نوجد س .

مثال (٧) :

ما هو أكبر خطأ يحدث في زاوية أفقية قيست بجهاز تيودوليت يفترق فيه



مركزا الورنيتين والدائرة الأفقية بمقدار ٠,٢ مم إذا كان قطر الدائرة الأفقية ١٢٠ مم .

الحل :

$$س = ٦٠ \text{ مم} \quad \epsilon = ٠,٢ \text{ مم}$$

$$\text{أكبر خطأ هو ه} = " \epsilon \cdot \frac{ق}{س}$$

$$\text{ه} = " ٢ \times \frac{٢٠,٦٢٦٥}{٦٠٠}$$

$$= " ٦٨٧,٥ = " ٢٧,٥ " ١١$$

مثال (٨) :

ا ب ح زاوية أفقية فيها زاويتا إرتفاع طرفاه ا ، ح هما ١٥ ' ٥٣٢ ، صفره على الترتيب ، وقيمتها الصحيحة هي ٤٥,٢ " ١٤ ' ٥٤١ . قيست هذه الزاوية بواسطة تيودوليت يختلف فيه إرتفاع الحاملين فقط فكانت ٢٠ " ١٤ ' ٥٤١ . عين ميل المحور الأفقى لهذا التيودوليت وأى الحاملين يرتفع عن الآخر .

الحل :

بما أن الزاوية الصحيحة أكبر من الزاوية المقيسة فيكون الحامل الأيمن مرتفعاً عن الحامل الأيسر .

$$\text{الزاوية الصحيحة} = \text{الزاوية المقيسة} + \text{ه}$$

$$\text{ه} = ٤٥,٢ " ١٤ ' ٥٤١ - ٢٠ " ١٤ ' ٥٤١$$

$$= ٢٥,٢ "$$

بفرض أن ميل المحور الأفقى هو م

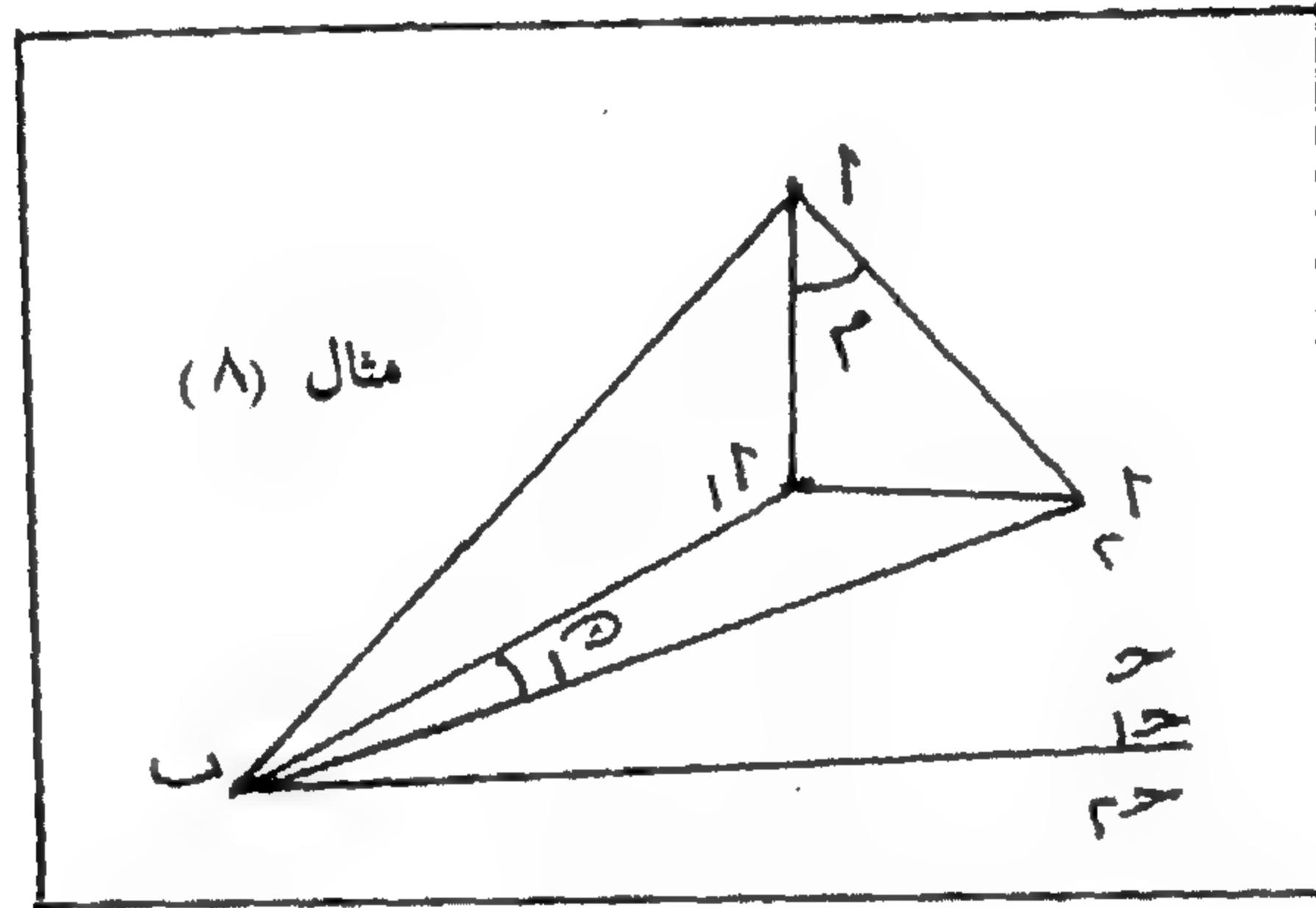
$$\text{ه} = " م \text{ ظا صا}$$



$$\frac{25,2''}{0,32' 15''} = \frac{1''}{\text{ظا ص}} = \text{م}''$$

$$40'' = \frac{25,2''}{0,631} =$$

ميل المحور الأفقى ٤٠'' والحامل الأيمن يرتفع عن الحامل الأيسر .



مثال (٩) :

تبدوليت قطر حافته الأفقية خمس بوصات . فإذا كان طول الخطأ الحادث فيه نتيجة عدم إنطباق مركز الدائرة الأفقية ومركز دائرة الورنيات هو ٠,٠٢٧٧ مم وكانت قراءة إحدى ورنياته هي ٤٠'' ٥١' ٥٠٠'' فما هي القراءة المحتملة للورنية الأخرى وما هي الزاوية الحقيقية ؟

الحل :

الاختلاف المركزى = س . هـ دائرى

$$90'' = \frac{20,6265 \times 0,0277}{25,4 \times 2,5} =$$

بفرض أن الزاوية الحقيقية هي س

$$\therefore س = 40'' 51' \pm 90'' = هـ \pm 40'' 51'$$



$$s_1 = 10'' 53'$$

$$s_2 = 10'' 50'$$

القراءة المحتملة للورنية الأخرى هي  $40'' 54' 0180$

أو القراءة المحتملة للورنية الأخرى هي  $40'' 48' 0180$

مثال (١٠)

تبدوليت يختلف فيه ارتفاعا الحاملين . قيست به زاوية أفقية منفردة (اب ح) . والجهاز متيامن فكانت  $36'' 20' 042$  . ثم قيست (اب ح) أيضاً في وضع متياسر (بدأنا بقياس الطرف ا ثم ح) فكانت  $44'' 14' 042$  فإذا كانت زاويتنا لارتفاع طرفي الزاوية ا ، ح هما  $060$  ،  $045$  على الترتيب فما هي قيمة الزاوية الأفقية الصحيحة ومقدار ميل المحور الأفقى .

الحل :

الزاوية الصحيحة = الزاوية المقيسة —  $h_1 + h_2$  في الموضع المتيامن

الزاوية الصحيحة = الزاوية المقيسة +  $h_1 - h_2$  في الموضع المتياسر

الزاوية المقيسة ( متيامن ) = الزاوية الصحيحة +  $h_1 - h_2$

الزاوية المقيسة ( متياسر ) = الزاوية الصحيحة —  $h_1 + h_2$

وهذه المعادلات صحيحة حيث أن  $h_1 < h_2$  لأن  $060 < 045$

∴ الزاوية الصحيحة = متوسط الزاويتين المقيستين

$$= \frac{36'' 20' 042 + 44'' 14' 042}{2}$$

2

$$= 40'' 17' 042$$



$$\begin{aligned}
& 36'' 20' 42'' = 40'' 17' 42'' + 60^\circ \text{ م ظا} - 45^\circ \text{ م ظا} \\
& 56'' 2' = \text{م} = (1,732 - 1,000) \\
& \therefore \text{م} = 240'' = 4'
\end{aligned}$$

## مسائل

١ — حدث خلل في تمرکز قرص الورنيات مع حافة التدریج مما ظهرت آثاره عند قياس زاوية به . فعند قراءة الإتجاه على أحد الأهداف كانت قراءة ورنية  $40'' 17' 42'' = 64^\circ 17' 42''$  ورنية ب  $20'' 14' 52'' = 244^\circ 14' 52''$  . أوجد مقدار إبتعاد مركزي الدائرتين بطريقتين وذلك إلى أقرب رقمين عشرين من المليمتر وبين أي الطريقتين أكثر صحة ولماذا ؟ إعتبر قطر كل من الدائرتين ٦ بوصات .

٢ — تيودوليت جميع شروط الضبط الدائم به مستوفاة ما عدا أن خط النظر ينحرف عن المحور الضوئي للمنظار بمقدار  $30' 1^\circ$  قيست به زاوية أفقية بين نقطتين أ ، ب زاويتا أرتفاعهما هما  $18' 40''$  ،  $40' 11''$  على التوالي . ما مقدار الخطأ في قياس الزاوية الأفقية ؟ كم يكون مقدار الخطأ لو كانت الزاوية الأولى زاوية إنخفاض ؟

٣ — المحور الأفقي لدوران المنظار في تيودوليت يميل على الأفقي بمقدار خمس دقائق . ما مقدار الخطأ الذي يحدث عند إسقاط نقطة على بعد ٢٠٠ متر رأسياً بواسطة التيودوليت من زاوية إرتفاع  $60^\circ$  إلى صفرة بدون عكس وضع المنظار ( الجواب ٠,٢٩٠ من المتر ) .

٤ — إذا كان خط النظر يصنع زاوية قدرها  $55' 88^\circ$  مع المحور الأفقي في تيودوليت . ما الخطأ الذي يحدث عند إسقاط نقطة على بعد ٤٠٠ متر ( المسافة المائلة ) من التيودوليت من زاوية إرتفاع  $80^\circ$  إلى صفرة بدون عكس وضع المنظار .



٥ — تيودوليت قطر قرص دائرته الأفقية خمس بوصات فيه مركزا القرصين يفترقان بمقدار ٠,٠٥ من البوصة أوجد :

أولاً — أكبر خطأ ( بالثواني ) يمكن أن يحدث في ورنية واحدة نتيجة لهذا الافتراق .

ثانياً — أكبر خطأ إذا كان نصف القطر سبع بوصات .

٦ — وضع سلك رفيع مشدود رأسياً على بعد ٥٠ متراً من تيودوليت وبعد تسوية الجهاز أفقياً أدير المنظار بزاوية ارتفاع قدرها ٣٠° ورصد به السلك فكانت نقطة تقاطع الشعرات منطبقة تماماً على السلك ، وبتخفيض المنظار إلى الأفق وجد أن خط النظر منحرف إلى يمين السلك بمقدار ٣,٢ مم .

وبتخفيض المنظار تدريجياً تحت الأفق وجد أن خط النظر قد أخذ في الأقتراب ، فلما بلغت زاوية الانخفاض ٣٠° كان انحراف خط النظر عن السلك ١,٦ مم . أذكر الأجزاء التي تحتاج إلى إصلاح وبين كيفية ضبطها .

٧ — تيودوليت يرتفع فيه الحامل الأيمن للمحور الأفقى عن الحامل الأيسر بحيث كان ميل هذا المحور عن الأفقى ٤٥ دقيقة . رصدت به الزاوية  $\alpha$  ح على الدائرة الأفقية فكان مقدارها ٢٠' ٤٦° . أوجد القيمة الصحيحة للزاوية المذكورة إذا كانت زاوية ارتفاع النقطة  $\alpha = ٤٨' ٧٤°$  وزاوية انخفاض النقطة  $\alpha = ٤٠' ٣٦°$  . كم تكون الزاوية الصحيحة لو كانت الزاوية الأولى زاوية انخفاض أيضاً — هل لو رصدت الزاوية مرة أخرى على وجه آخر وأخذت المتوسط فهل تحصل على القيمة الصحيحة ولماذا ؟

٨ — ١ — تيودوليت ينخفض فيه الحامل الأيسر للمحور الأفقى عن الحامل الأيمن بحيث كان ميل المحور الأفقى ١٨ دقيقة . رصدت به زاوية أفقية  $\alpha$  ح فكانت قيمتها ١٨' ٥٦° . وكانت زاوية ارتفاع  $\alpha$  ( نقطة بدء الرصد )  $= ٤٦°$  وزاوية انخفاض  $\alpha = ٨٧°$  . أوجد القيمة الصحيحة للزاوية الأفقية .



ب — تيودوليت نصف قطر حافته الأفقية قدره ( س ) ملليمتر . أفترق فيه مركزاً قرصيه بمقدار ثلاثة ملليمترات . قيست به زاوية أفقية فكانت قراءة الورنية  $1 = 30'' 46' 08''$  ،  $2 = 00'' 22' 26''$  ما مقدار نصف قطره ( س ) إلى أقرب رقم عشر ملليمتر صحيح .

٩ — ١ — تيودوليت يرتفع فيه الحامل الأيمن للمحور الأفقى عن الحامل الأيسر بحيث كان ميل هذا المحور عن الأفقى ٩ دقائق ، رصد به الزاوية  $1 = 36' 54''$  ،  $2 = 12' 35''$  .

ب — فى جهاز تيودوليت يميل محور أنبوبة ميزان التسوية الخاص بالدائرة الأفقية بمقدار ١,٠ من الزاوية القائمة . قيست الزاوية الأفقية  $1 = 14' 01''$  . عين مع البرهان القيمة الصحيحة لهذه الزاوية .

١٠ — عند القيام بتشكيل عدة قطاعات عرضية بواسطة التيودوليت فى أرض غير ممهدة أراد المهندس حساب منسوب المحور الأفقى لدوران منظار التيودوليت فى أحد أوضاعه ، فأخذ قراءتين على قامة وضعت رأسية فوق روير أوطى من التيودوليت ومنسوبه  $58,05$  م فكانتا  $2,952$  ،  $0,988$  متراً على خطى نظر يميلان إلى أسفل بزاويتي إنخفاض  $20' 09''$  ،  $45' 10''$  على التعاقب . أحسب منسوب المحور الأفقى .

١١ — ما هو الخطأ فى قياس الزاوية الأفقية  $1 = 11' 40''$  إذا كان الرصد على أعلى نقطة فى الشواخص عند  $1$  ،  $2$  وكان الشخصان مائلان للخارج بمقدار  $20' 11''$  وطول كل منهما ١ متر والبعد  $1 = 100$  وإذا كانت الزاوية  $1 = 40'' 45' 11''$  فما هى القيمة المصححة للزاوية .

١٢ — ١ — رصدت الزاوية الأفقية بين نقطتين فكانت  $22' 28''$  وزاوية



إرتفاع إحدى النقطتين ٥٧٢° وزاوية إرتفاع النقطة الأخرى ٥٢٨° والمحور الأفقى لدوران المنظار يميل بمقدار ٢' . ما مقدار الزاوية الأفقية الصحيحة .

ب — رصدت زاوية أفقية فكانت القراءة على الورنية I هي ٣٠" ١٨' ٥٣٠° وعلى الورنية II هي ٣٠" ٤٨' ٥٢١٠° . أوجد الاختلاف المركزى إذا كان نصف القطر ٦٠ ملليمتر .

١٣ — بناء إرتفاعه ٦٠ متر رصدت الزاوية الأفقية بين قمته وبين شاخص رأسى فوجدت أنها تساوى ٤٤" ٤٥' ٥٤٤° . فإذا كانت المسافة بين التيودوليت والبناء غير معلومة . أوجد هذه المسافة إلى أقرب سنتيمتر مستعملاً أحد القوانين المعلومة علماً بأن ميل البناء على الرأسى = ٥٢° والزاوية من الشاخص وأسفل البناء = ٣٠" ٤٩' ٥٤٤° .

( الجواب ١٨٦١ متر )

١٤ — لإختبار تأثير الانفجارات على المنشآت وضعت علامة على أحد الأعمدة . ما هي الإجراءات التى تجريها مبيناً بأرقام مناسبة من عندك كيف تعين بدقة تامة مدى تحرك العلامة على العمود فى الإتجاه الأفقى بعد الانفجار عنه قبل الانفجار علماً بأن دائرة تأثير الانفجار هي فى حدود ٢٠٠ متر تقريباً من العمود .

١٥ — لتخطيط امتداد الخط A ب من A إلى و وضع التيودوليت فى نقط متتابعة ب ، ح ، د ، هـ .

وذلك بالرصد خلفياً إلى A ، ب ، ح ، د على الترتيب ثم يقلب المنظار فإذا كان خط النظر يضع زاوية مقدارها ٤٠" ١' مع العمودى على المحور الأفقى وكانت النظرات الخلفية دائماً والجهاز متيامن فما هو :

أولاً — الخطأ الزاوى فى الجزء هـ و .

ثانياً — ما هو الخطأ فى وضع ( و ) عمودياً على الإتجاه الصحيح إذا كان



ا ب = ٣٥٠ متر ، ب ح = ٢٥٠ متر ، ح د = د ه = ٢٠٠ متر ،  
ه و = ١٤٠ متر .

١٦ - تيودوليت ينحرف خط النظر فيه عن المحور الضوئي بمقدار م ،  
أثبت أن الخطأ في قياس زاوية أفقية ا ب ح بهذا الجهاز هو ظا - (  $\frac{\text{ظام}}{\text{جتا س}}$  )  
— ظا - (  $\frac{\text{ظام}}{\text{جتا ص}}$  ) حيث س ، ص هما زاويتي إرتفاع النقطتين ا ، ب على  
الترتيب .

١٧ - قيست زاوية أفقية ا ب ح بجهاز تيودوليت يميل فيه المحور الرأسى  
٤٠ " عن الرأسى . فما مقدار الخطأ الحادث في قياس هذه الزاوية إذا كانت  
زاويتي إرتفاع طرفاهما هما ١٥ ' ٥٣٢ ، صفره على الترتيب .  
الجواب ( الخطأ = ٢٥ " )

١٨ - الخطأ الحادث في قياس زاوية أفقية ا ب ح بجهاز تيودوليت يختلف  
فيه إرتفاع الحاملين عن بعضهما هو ٦٠ " . ما هو ميل المحور الأفقى في هذا  
الجهاز إذا كانت زاوية إرتفاع ا هى ٣٤ ' ٥٣٣ وزاوية إرتفاع ب هى صفر .



## الباب الرابع

تعيين الأرتفاعات والمسافات بالتيودوليت

أولاً - تعيين الأرتفاعات

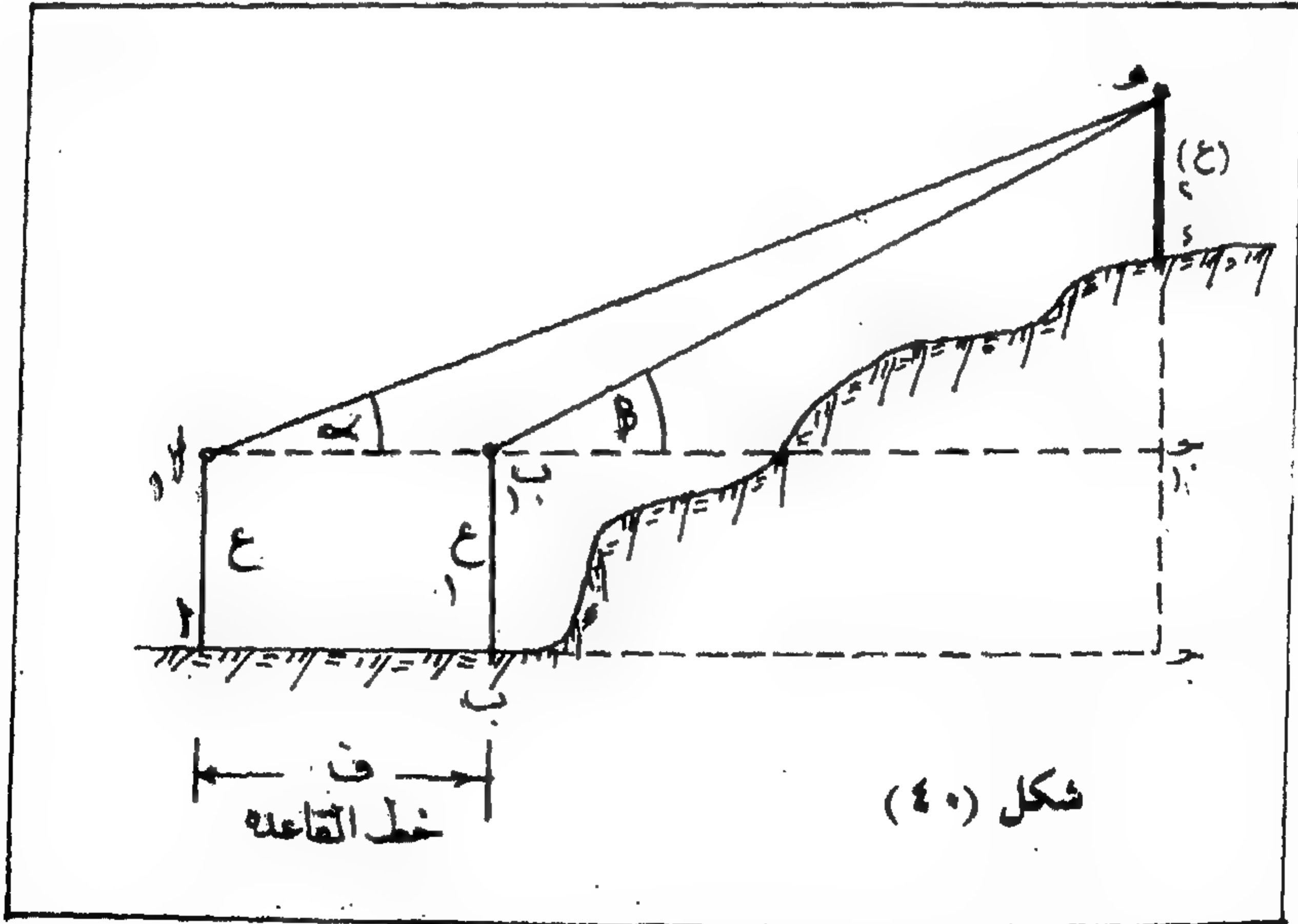
I - تعيين ارتفاع قمة هدف وقاعدته  
عن نقطة أرضية ولا يمكن الوصول  
إلى قمة أو قاعدة الهدف

نختار خط قاعدة ونقيس طوله بدقة ونرصد أيضاً الزاويتين عند طرفي  
القاعدة .

١ - حالة خط القاعدة أفقى والهدف يقع على امتداد القاعدة :

في شكل ( ٤٠ ) نفرض أن :

طول خط القاعدة  $AB = F$  ، طول الهدف  $EC = e$





$$\begin{aligned}
a, h &= \alpha \text{ ظنا} \\
b, h &= \beta \text{ ظنا} \\
a, h - b, h &= (\alpha \text{ ظنا} - \beta \text{ ظنا}) \\
\frac{a - b}{\alpha \text{ ظنا} - \beta \text{ ظنا}} &= h
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \text{ارتفاع قمة الهدف ه عن النقطة الأرضية ا} \\
&\text{طول خط القاعدة ( ف )} + \frac{\text{ارتفاع الجهاز ( ع )}}{\alpha \text{ ظنا} - \beta \text{ ظنا}}
\end{aligned}$$

(١٧) .....

$$\begin{aligned}
&\text{ارتفاع الأرض عند قاعدة الهدف} = \frac{\text{طول خط القاعدة ( ف )}}{\alpha \text{ ظنا} - \beta \text{ ظنا}} + \text{ع} - \text{ع} \\
&\text{عن النقطة الأرضية ا}
\end{aligned}$$

(١٨) .....

وفي الحالات الثلاثة التالية ستعين ارتفاع القمة عن النقطة الأرضية ا ، ثم لايجاد ارتفاع الأرض ( ه ) عند الهدف نطرح ارتفاع الهدف ( ع ) أو نرصده بدلاً من ه ونطبق نفس المعادلات .

ب - حالة خط القاعدة أفقى والهدف ليس على امتداد القاعدة :

في شكل ( ٤١ ) :

الزوايا المقاسة عند ا : الزاوية الأفقية  $\theta$



: الزاوية الرأسية  $\alpha$

عند ب : الزاوية الأفقية  $\phi$

: الزاوية الرأسية  $\beta$

في المثلث  $أ ب ح$  :

$$أ ح = أ ب \sin \phi \text{ قتا } (\phi + \theta) \text{ ( قانون الجيوب )}$$

$$ب ح = أ ب \sin \theta \text{ قتا } (\phi + \theta)$$

$$\therefore ح_أ = أ ح \tan \alpha$$

$$أ ب \sin \phi \text{ قتا } (\phi + \theta) \cdot \tan \alpha$$

$$\text{وكذلك } ح_ب = ب ح \tan \beta$$

$$أ ب \sin \theta \text{ قتا } (\phi + \theta) \cdot \tan \beta$$

$$\text{ارتفاع ( ه ) قمة الهدف عن النقطة الأرضية } أ = ح_أ + ح_ب$$

$$\text{ارتفاع ه قمة الهدف عن النقطة الأرضية } أ = ف \sin \phi \text{ قتا } (\phi + \theta) \cdot \tan \alpha +$$
$$ف \sin \theta \text{ قتا } (\phi + \theta) \cdot \tan \beta + ع_أ$$

..... (١٩)

ح - حالة خط القاعدة على أرض مائلة والهدف على امتداد القاعدة

في شكل ( ٤٢ ) الزوايا المرصودة .

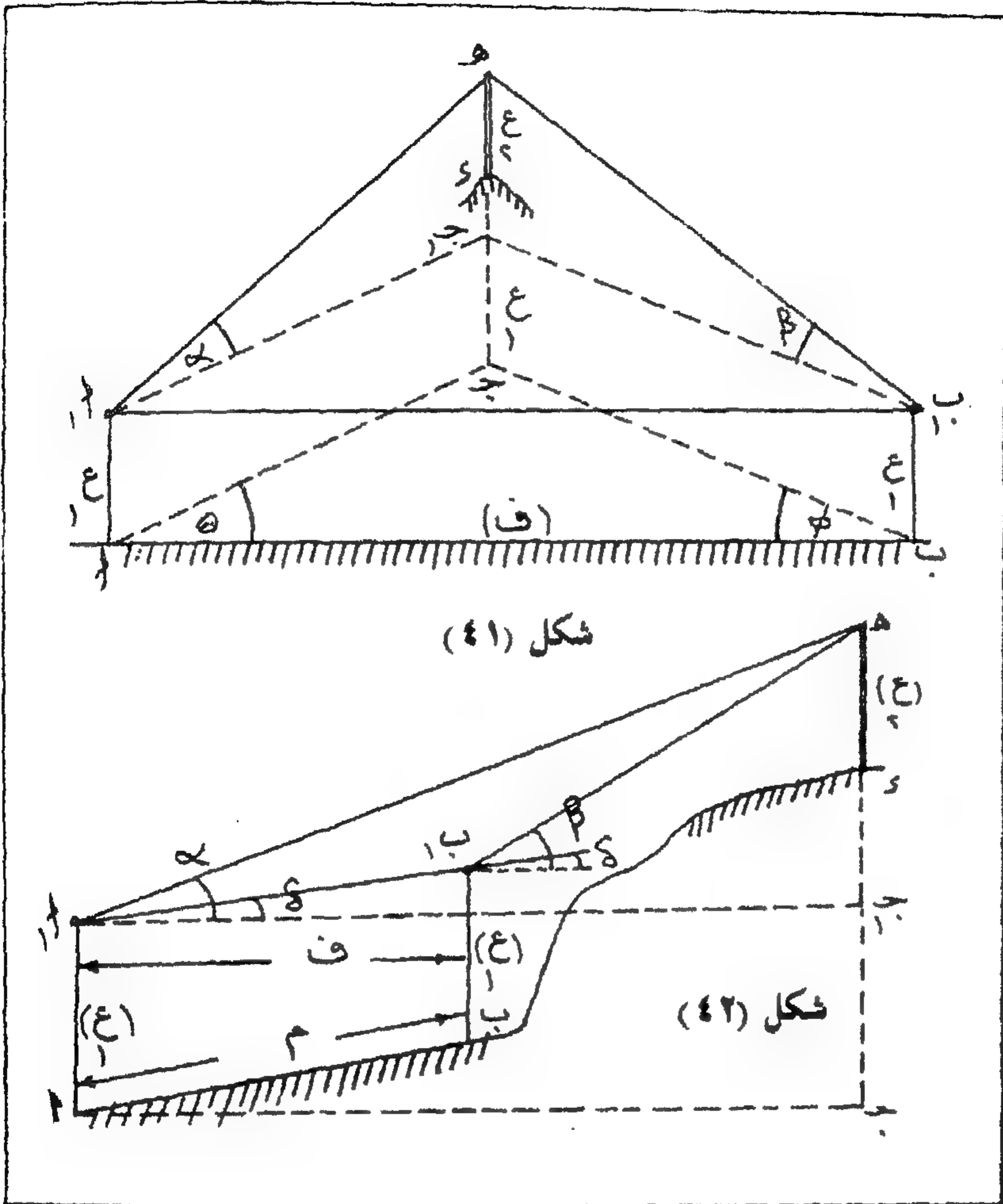
عند أ : الزاوية الرأسية  $\alpha$  ( للهدف )

الزاوية الرأسية  $\delta$  ( ميل الأرض )

عند ب : الزاوية الرأسية  $\beta$  ( للهدف )

المسافة المائلة  $أ ب = م$





شكل (٤١)

شكل (٤٢)

في المثلث  $\triangle ABC$

الزاوية عند  $A = \alpha - \delta$

الزاوية عند  $B = 180^\circ - (\delta - \beta)$

الزاوية عند  $C = \alpha - \beta$

$\therefore \triangle ABC = \triangle A'B'C'$  جا  $\{ 180^\circ - (\delta - \beta) \}$  قتا  $(\alpha - \beta)$

$= \triangle ABC$  جا  $(\delta - \beta)$  قتا  $(\alpha - \beta)$



$$\begin{aligned} \text{ارتفاع } h &= \text{قمة الهدف عن } A = h + c + e, \\ &= h + \alpha \text{ جا } A + e. \end{aligned}$$

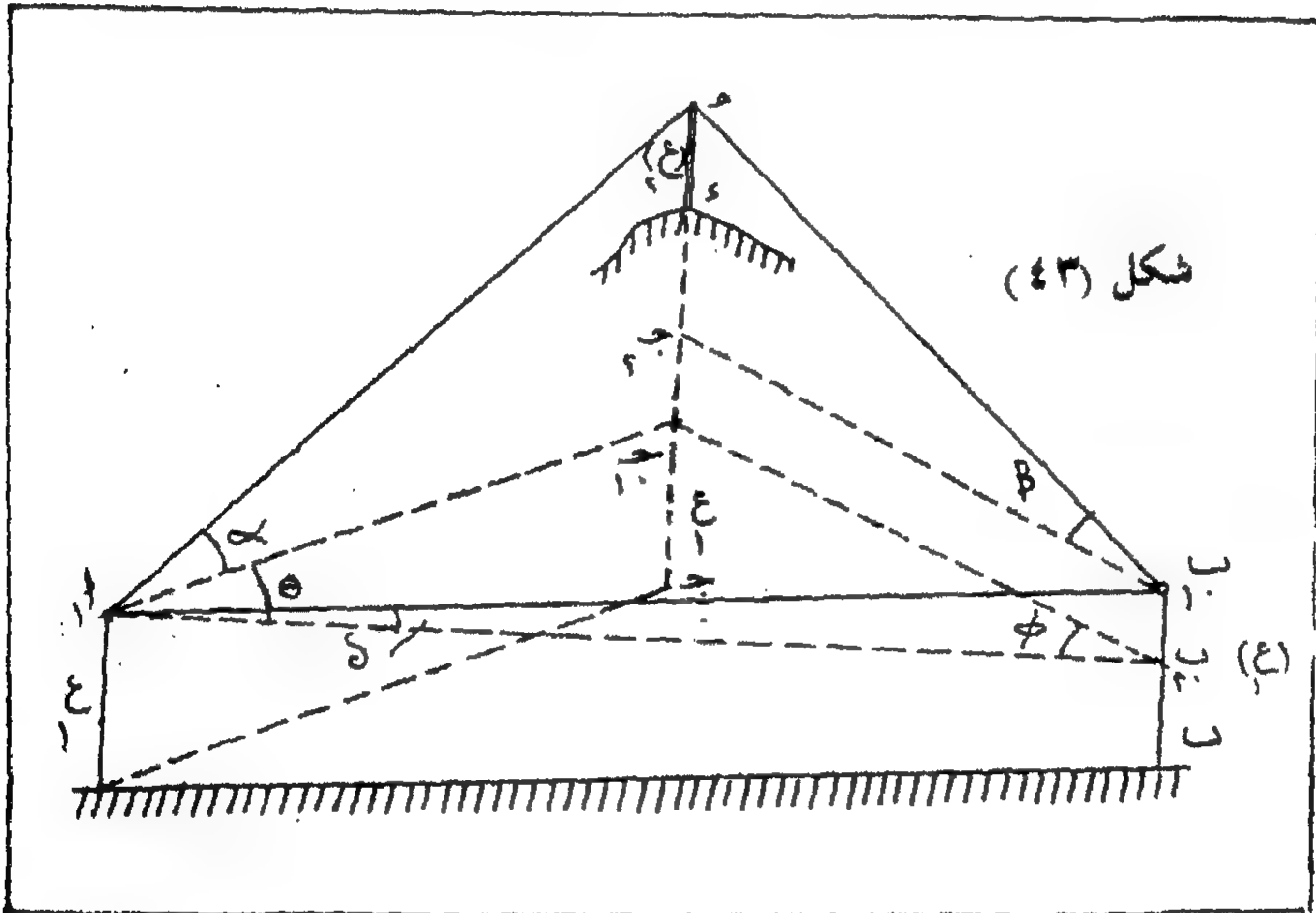
ارتفاع هـ قمة الهدف عن النقطة الأرضية ا =

$$م جا (\delta - \beta) - قنا (\alpha - \beta) جا \alpha + ع$$

(۲۰) . . . . .

٥ - حالة خط القاعدة على أرض مائلة والهدف ليس على امتداد القاعدة :

في شكل ( ٤٣ ) الزوايا المرصودة



عند أ : الزاوية الأفقية  $\theta$   
 الزاوية الرأسية  $\alpha$  ( للهدف )  
 الزاوية الرأسية  $\delta$  ( ميل الأرض )  
 عند ب : الزاوية الأفقية  $\phi$   
 الزاوية الرأسية  $\beta$  ( للهدف )



المسافة المائلة  $ab = m$

$$ab_1 = ab \cos \delta$$

$$ab_1 = ab \cos \phi \text{ قتا } (\phi + \theta)$$

$$h_1 = ab_1 \sin \alpha$$

$$ab \cos \delta \sin \alpha \text{ قتا } (\phi + \theta) = \dots \dots (21)$$

ارتفاع  $h$  قمة الهدف فوق النقطة الأرضية  $a = h_1 + h_2 = h_1 + h_3$

$$\text{ارتفاع } h \text{ قمة الهدف فوق } a \text{ الأرضية} = \\ m \cos \delta \sin \alpha \text{ قتا } (\phi + \theta) + \alpha$$

$\dots \dots (22)$

وبالمثل :

$$b_1 = b_2 = b_3 = ab \cos \theta \text{ قتا } (\phi + \theta)$$

$$h_2 = b_2 \sin \beta$$

$$\text{ارتفاع } h \text{ فوق } a = h_1 + h_2 + h_3 = h_1 + b_1 + b_2 + b_3$$

$$\text{ارتفاع } h \text{ قمة الهدف فوق } a = \\ m \cos \delta \sin \theta \text{ قتا } (\phi + \theta) + \beta + m \cos \delta + \alpha$$

$\dots \dots (23)$

$$\text{ارتفاع النقطة الأرضية فوق } a = h_1 + h_2 - h_3 = \\ h_1 + h_2 - h_3 + m \cos \delta$$

$\dots \dots (24)$



## II — تعيين طول هدف يمكن رؤية كل من قاعدته وقمته ولا يمكن الوصول إليهما

١ — حالة خط القاعدة الأفقية أفقى والهدف على امتداد القاعدة

والمطلوب إيجاد ( ع ) ارتفاع الهدف . شكل ( ٤٤ ) والزوايا المرصودة :

عند أ : الزاويتان الرأسيتان :  $\alpha_1, \alpha_2$

عند ب : الزاويتان الرأسيتان :  $\beta_1, \beta_2$

$$\frac{AB}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2} = H_1$$

$$\frac{AB}{\tan \beta_1 - \tan \beta_2} = H_2$$

$$\text{حيث } H_1 - H_2 = E = \text{ع}$$

$\left\{ \frac{1}{\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2} - \frac{1}{\tan \beta_1 - \tan \beta_2} \right\} F = \text{ارتفاع الهدف ( ع )}$
--

..... (٢٥)

ب — حالة خط القاعدة أفقى والهدف ليس على امتداد القاعدة

في شكل ( ٤٥ ) خط القاعدة الأفقية = ا ب = ف

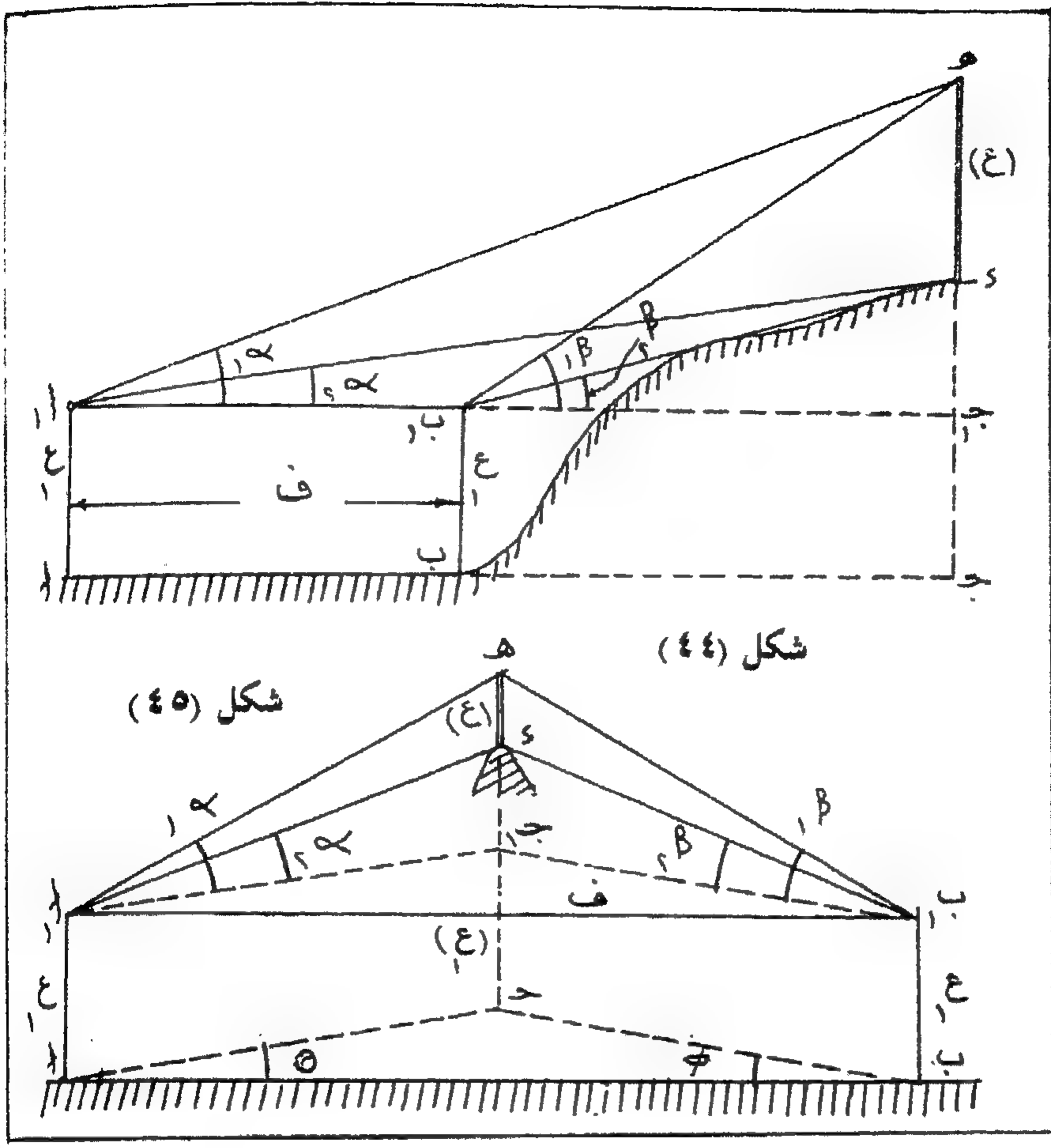
الزوايا المرصودة عند أ : الزاويتان الرأسيتان  $\alpha_1, \alpha_2$

: الزاوية الأفقية  $\theta$

الزوايا المرصودة عند ب : الزاويتان الرأسيتان  $\beta_1, \beta_2$

: الزاوية الأفقية  $\phi$





شكل (٤٤)

شكل (٤٥)

$$اح = ا, ح = اب جا \phi \text{ قتا } (\phi + \theta)$$

$$هـ = س = ع = اح (ظا \alpha - ظا \alpha_2)$$

$$ع = ف جا \phi \text{ قتا } (\phi + \theta) (ظا \alpha - ظا \alpha_2)$$

(٢٦) .....



وبالمثل :

$$ع = ف جا \theta قتا (\phi + \theta) (\phi - \theta) (\phi + \theta)$$

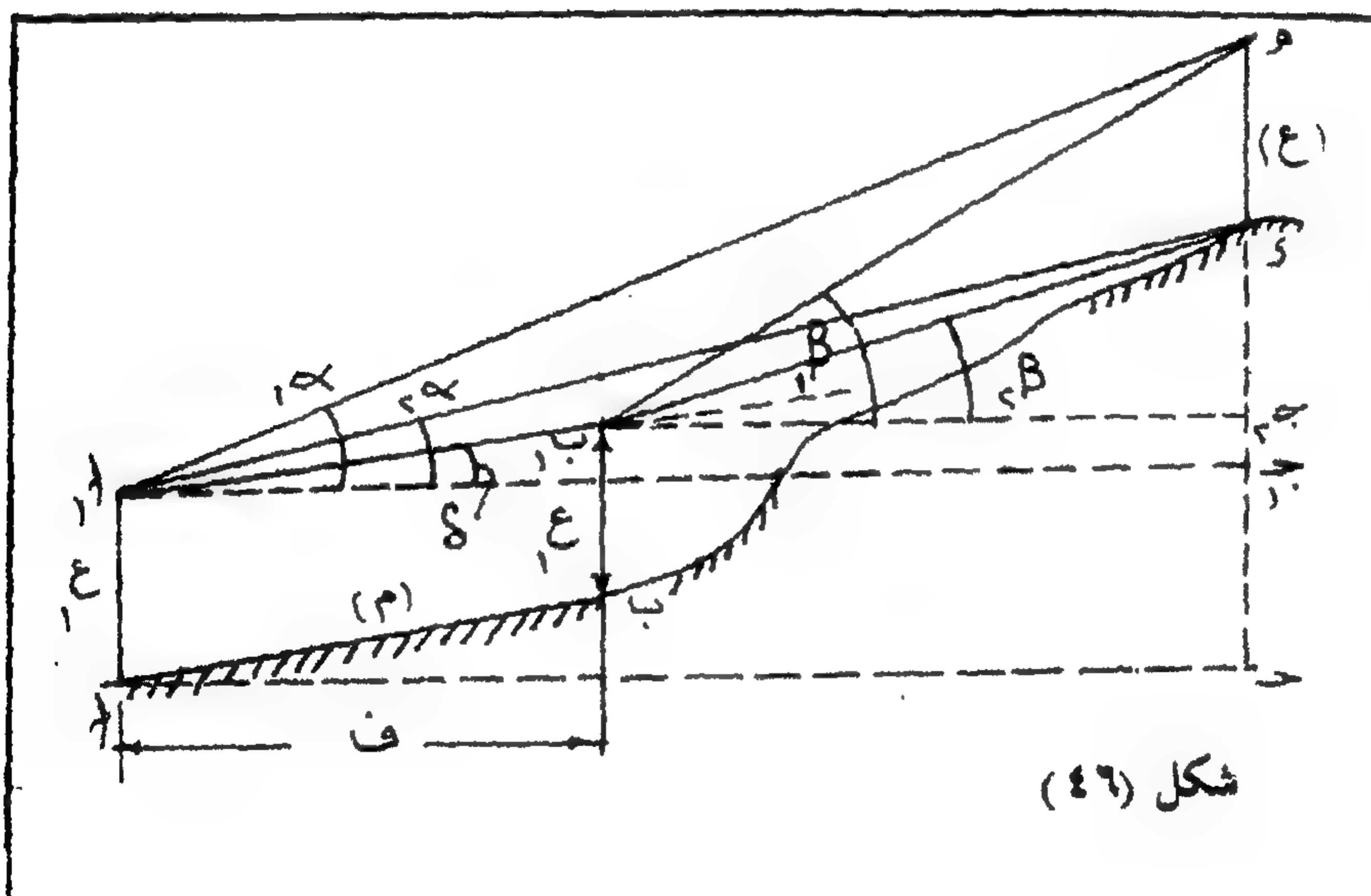
(۲۷) . . . . .

(ح) حالة خط القاعدة على أرض مائلة والهدف على امتداد خط القاعدة

في شكل (٤٦) خط القاعدة المائل  $a = m$

الزوايا الرأسية المرصودة عند  $\alpha, \alpha, \delta$

الزوايا الرأسية المرصودة عند  $\beta_1, \beta_2$



من المعادلة (٢٠)

فـ > = ا ب جـا (  $\delta - , \beta$  ) قـا (  $\alpha - , \beta$  ) جـا  $\alpha$  ,

و ح = ا ب جا (  $\delta - \sqrt{\beta}$  ) قتا (  $\sqrt{\alpha} - \sqrt{\beta}$  ) جا  $\sqrt{\alpha}$  ،



$$h = s - h = s - h$$

∴

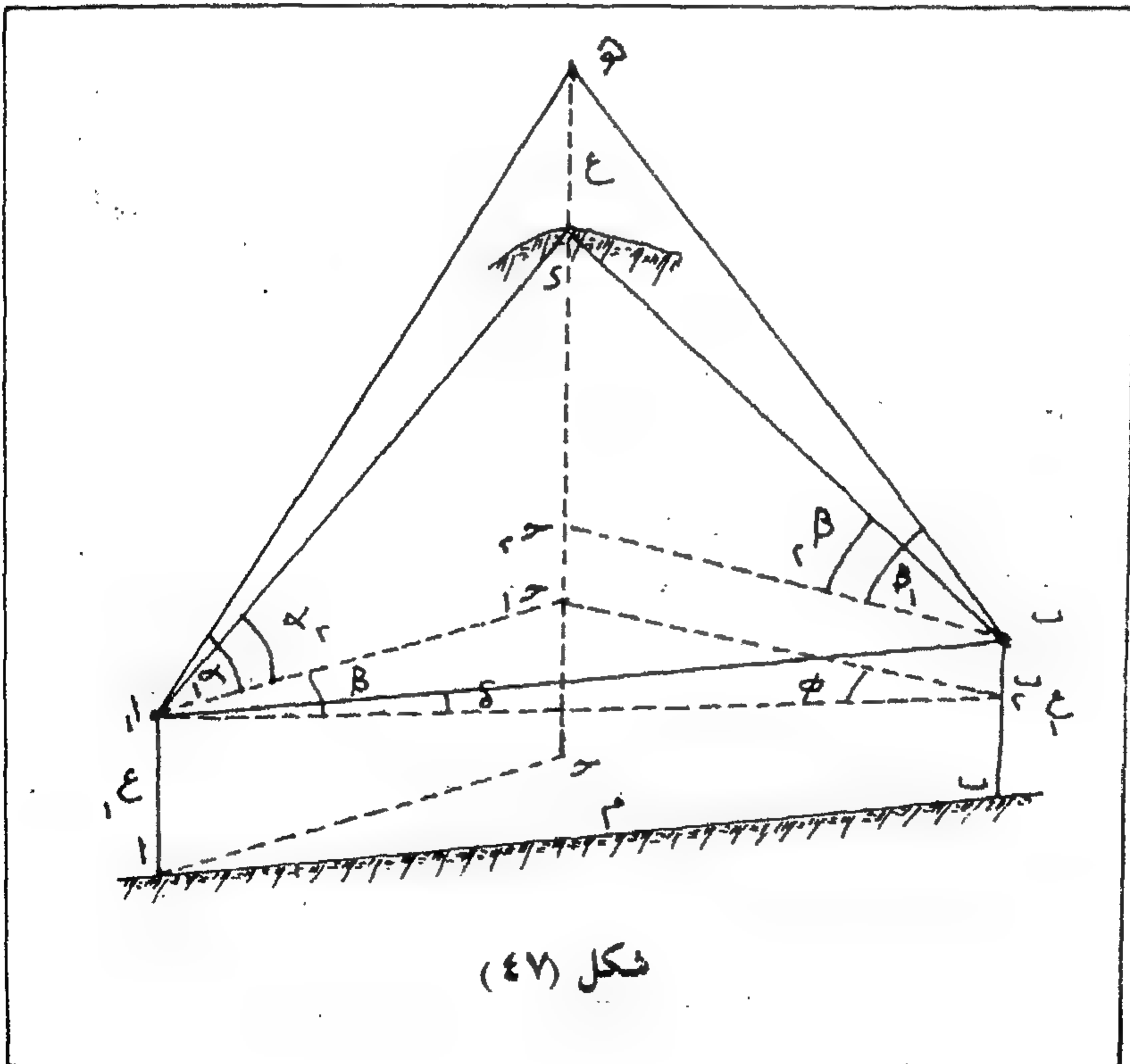
$$E = M [ \text{جا } (\delta - \beta) \text{ قتا } (\alpha - \beta) \text{ جا } \alpha - \text{جا } \alpha ]$$

$$\text{جا } (\delta - \beta) \text{ قتا } (\alpha - \beta) \text{ جا } \alpha$$

(٢٨) .....

س - حالة خط القاعدة على أرض مائلة والمهدف ليس على امتداد خط القاعدة

في شكل (٤٧) الزوايا المقيسة



شكل (٤٧)



عند أ : الزاوية الأفقية  $\theta$   
 الزوايا الرأسية  $\alpha$  ،  $\alpha$   
 ميل الأرض  $\delta$   
 عند ب : الزاوية الأفقية  $\phi$   
 الزوايا الرأسية  $\beta$  ،  $\beta$

من المعادلة (٢١)

$$\begin{aligned} \text{هـ ح} &= \text{أ ب جتا } \delta \text{ جا } \phi \text{ قتا } (\phi + \theta) \text{ ظا } \alpha \\ \text{س ح} &= \text{أ ب جتا } \delta \text{ جا } \phi \text{ قتا } (\phi + \theta) \text{ ظا } \alpha \\ \text{ع} &= \text{هـ س} = \text{س ح} - \text{هـ ح} \end{aligned}$$

(٢٩) ...	$\text{ع} = \text{م جتا } \delta \text{ جا } \phi \text{ قتا } (\theta + \phi) (\text{ظا } \alpha - \text{ظا } \alpha)$
(٣٠) ...	$\text{ع} = \text{م جتا } \delta \text{ جا } \theta \text{ قتا } (\theta + \phi) (\text{ظا } \beta - \text{ظا } \beta)$

### III — تعيين طول هدف مائل (عامود علم مائل مثلاً) على قمة مبنى

في شكل (٤٨) .

يقاس خط القاعدة أ ب ، وإذا كانت الأرض مائلة تحسب المسافة الأفقية .

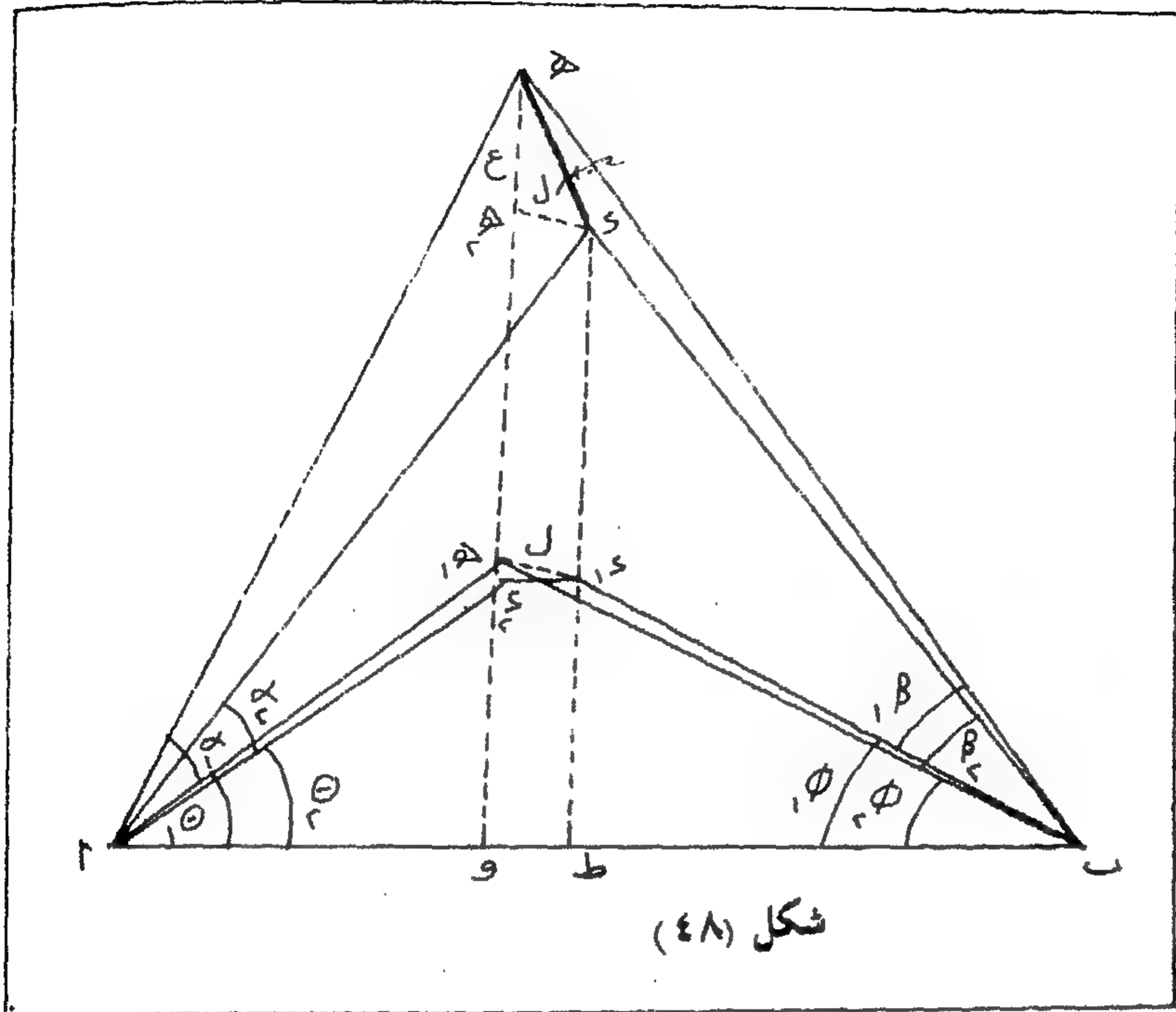
الزوايا المقيسة عند أ :

الزوايا الأفقية  $\theta$  ،  $\theta$  لقمة وقاعدة العمود المائل  
 الزوايا الرأسية  $\alpha$  ،  $\alpha$  لقمة وقاعدة العمود المائل

الزوايا المقيسة عند ب :

الزوايا الأفقية  $\phi$  ،  $\phi$  لقمة وقاعدة العمود المائل





الزوايا الرأسية  $\beta_1$  ،  $\beta_2$  لقمة وقاعدة العمود المائل

في المسقط الأفقى فإن طول  $هـ س = ل س$  ،  $(هـ س = ل س)$   
 فى المسقط الرأسى طول  $هـ س = ل س$  أى الفرق فى الارتفاع

$$\therefore ا هـ = ا ب جا \phi \text{ قتا } (\theta + \phi)$$

$$\text{وكذلك ا س} = ا ب جا \phi \text{ قتا } (\theta + \phi)$$

الطول  $هـ س = ل$  وأفضل أن يكون حسابه باستعمال الأحداثيات .

$$\text{نفرض أن انحراف ا ب} = \alpha$$

$$ا و = ا هـ جا (\theta - 90) = ا هـ جتا \theta$$

$$ا ط = ا س جا (\theta - 90) = ا س جتا \theta$$

حيث:



$$وط = s_1 s_2 = a - ط_1$$

$$= a s_1 \text{ جتا } \theta_2 - a s_2 \text{ جتا } \theta_1$$

$$\text{وبالمثل } h_1 s_2 = h_2 s_1 \text{ و } a s_2 - a s_1 \text{ جتا } \theta_1 = a s_1 \text{ جتا } \theta_2$$

في المثلث  $s_1 s_2 h_1$

$$(31) \dots \dots \dots \frac{s_1 s_2}{h_1 h_2} = \text{ظا } \alpha = \text{انحراف اتجاه الميل ( بالنسبة للخط } a \text{ )}$$

$$(32) \dots \dots \dots \text{طول } s_1 h_1 = h_2 s_2 \text{ ( قاعد الانحراف )}$$

ولايجاد فرق الارتفاع  $h_2 - h_1$

$$\text{ارتفاع القمة فوق } a = a s_2 \text{ ظا } \alpha$$

$$\text{ارتفاع القاعدة فوق } a = a s_1 \text{ ظا } \alpha$$

$$(33) \dots \dots \dots \text{طول } h_2 - h_1 = a s_2 \text{ ظا } \alpha - a s_1 \text{ ظا } \alpha$$

لايجاد طول العمود :

في المثلث  $h_2 s_2 h_1$

$$(h_2 s_2)^2 = (h_2 h_1)^2 + (h_1 s_2)^2$$

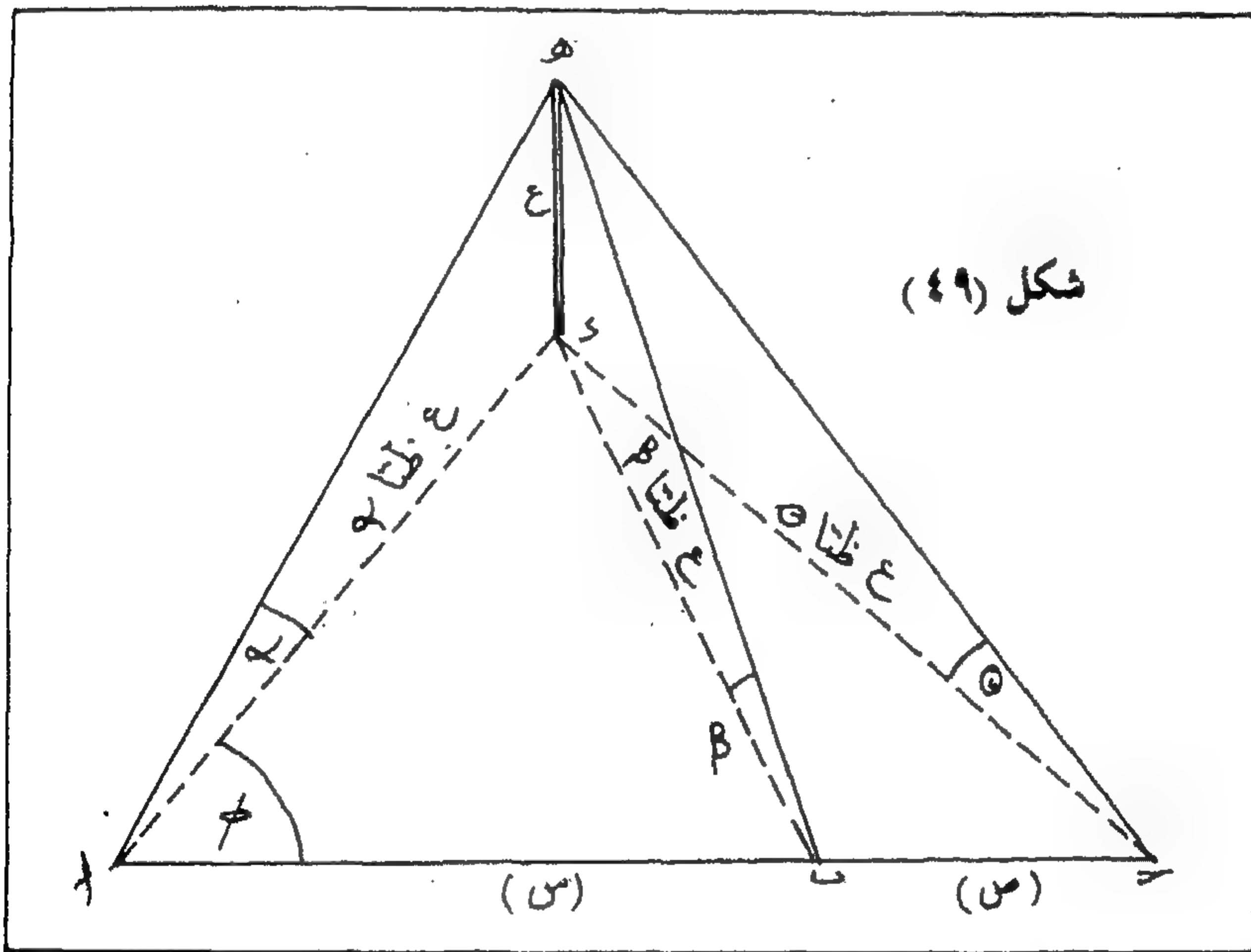
$$(34) \dots \dots \dots \therefore h_2 s_2 = \sqrt{(h_2 h_1)^2 + (h_1 s_2)^2}$$



#### IV - تعيين ارتفاع هدف من

#### ثلاث زوايا ارتفاع فقط

المعلوم أ ، ب ، ح ثلاث نقط على خط قاعدة واحد ومنسوب واحد  
شكل (٤٩) قياست المسافتان س ، ص ورصدت الزوايا  $\alpha$  ،  $\beta$  ،  $\theta$  زوايا  
ارتفاع هدف من النقط الثلاث أ ، ب ، ح .  
بحل المثلثين أ ب ، أ ح بقاعدة الجيوب .



$$\frac{\text{جتا } \phi = \frac{{\alpha^2 \text{ ظنا }^2 \text{ ع}^2 - {\beta^2 \text{ ظنا }^2 \text{ ع}^2}}{2 \text{ ع س ظنا } \alpha}}$$

$$= \frac{{\alpha^2 \text{ ظنا }^2 \text{ ع}^2 (\text{ص} + \text{س}) + {\theta^2 \text{ ظنا }^2 \text{ ع}^2}}{2 \text{ ع} (\text{ص} + \text{س}) \text{ ظنا } \alpha}$$



$$\therefore (س + ص) [ع^2 (ظتا^2 \alpha - \beta) + س^2]$$

$$= س [ع^2 (ظتا^2 \alpha - \theta) + (س + ص)^2]$$

أى :

$$ع^2 [(س + ص) (ظتا^2 \alpha - \beta) - س (ظتا^2 \alpha - \theta)]$$

$$= س (س + ص)^2 - س (س + ص)^2$$

$$ع^2 = \frac{(س + ص) [س (س + ص) - س^2]}{(س + ص) (ظتا^2 \alpha - \beta) - س (ظتا^2 \alpha - \theta)}$$

$$ع^2 = \frac{س (س + ص)}{(س + ص) (ظتا^2 \alpha - \beta) - س (ظتا^2 \alpha - \theta)}$$

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{س ص (س + ص)}{س (ظتا^2 \alpha - \theta) + ص (ظتا^2 \alpha - \beta)} \right] = ع$$

..... (٣٦)

وإذا كانت س = ص

$$\frac{\sqrt{س}}{2} = ع \quad \frac{1}{2} [ظتا^2 \alpha + 2 ظتا^2 \beta - \theta]$$

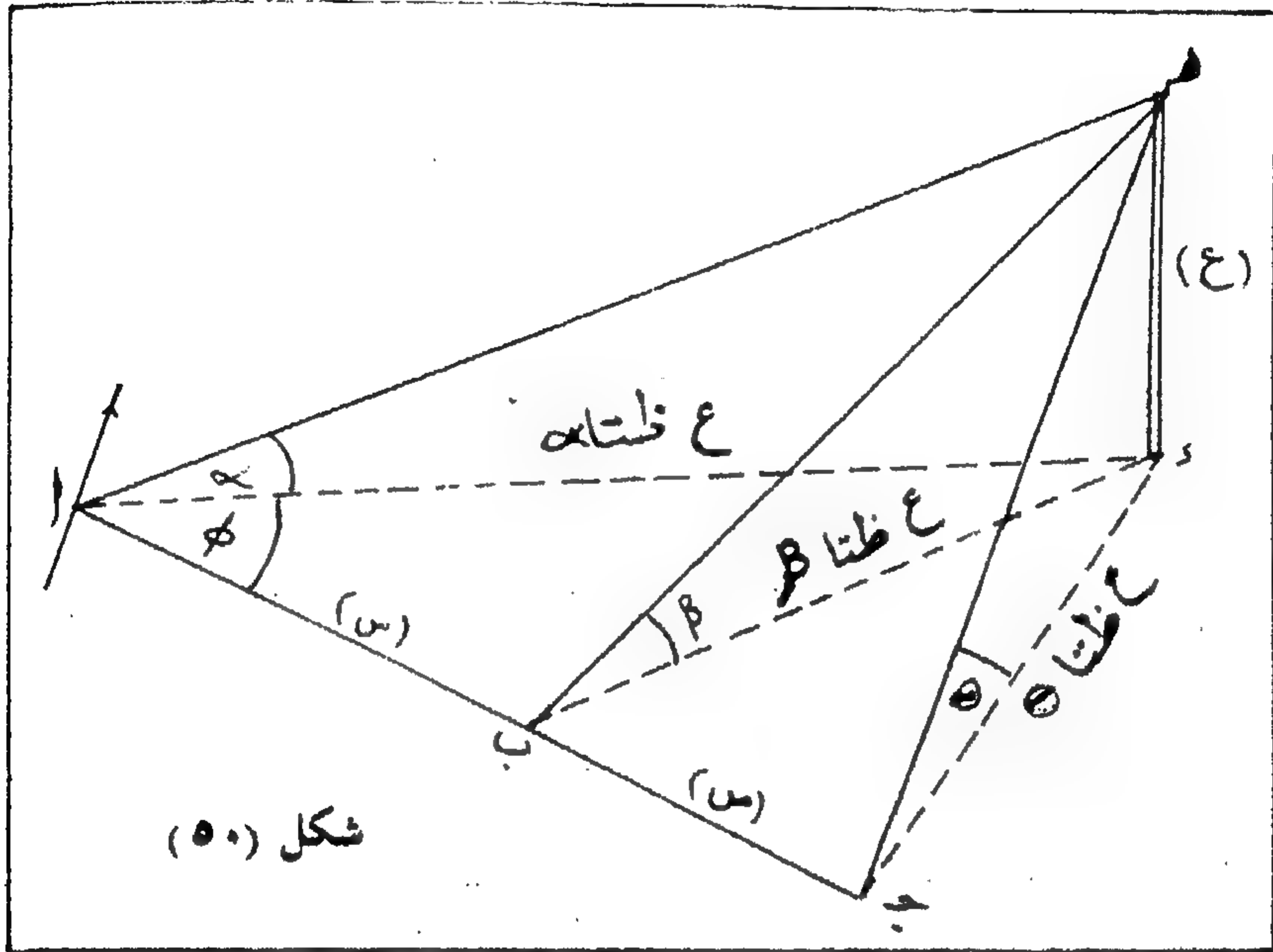
..... (٣٧)

مثال :

ا ، ب ، ح ثلاث نقط على خط مستقيم أفقى واحد وانحرافه  
 ٣٤ " ٠٣ ' ٥١٢٦ شكل (٥٠) ، البعد ا ب = ٥٢٣,٥٤ قدم ، ب ح =  
 ٤٢٠,٩٧ قدم .



وضع جهاز على الثلاث نقط وارتفاع واحد قدره ٣ بوصة ٤ قدم  
ورصدت زوايا الارتفاع إلى قمة برج د فكانت كما يلي :



عند ا ٠٠ " ١٤ ' ٥٧  
ب ٢٠ " ١٥ ' ٥١٠  
ح ٣٠ " ١٢ ' ٥١٣

أحسب : ا - ارتفاع قمة البرج ه فوق منسوب الخط ا ب ح .  
ب - انحراف الخط ا د .  
ح - المسافة الأفقية ا د .

في الشكل :

$$ا د = ع \text{ ظنا } \alpha$$

$$ب د = ع \text{ ظنا } \beta$$

$$ح د = ع \text{ ظنا } \theta$$



بجمل المثلثين ا، ب، ا، ح وباستعمال المعادلة (٣٦)

$$\left[ \frac{(420,97 \times 523,54)}{(510'15''2 - 513'12''3 - 523,54)} \right] = \epsilon$$

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{(420,97 + 523,54) \times}{(510'15''2 - 514'14''0 - 523,54)} \right]$$

$$= 175,16 \text{ متراً}$$

١ — إرتفاع ه فوق منسوب ا، ب، ح الأرضية

$$= 175,16 + 4,25 = 179,41 \text{ قدم}$$

باستعمال المعادلة :

$$\phi = \frac{\epsilon^2 (\alpha^2 \text{ ظنا} - \beta^2 \text{ ظنا}) + \alpha^2 \text{ س}}{2 \epsilon \text{ س ظنا} \alpha}$$

$$\phi = \frac{175,16^2 (514'14''0 - 510'15''2) + 523,54^2}{2 \times 175,16 \times 523,54 \times 514'14''0}$$

$$= 0,85909$$

$$\therefore \phi = 10'47''03$$

$$\text{ب — } \therefore \text{ انحراف ا، ب} = 5126'03''34 - 510'47''03 = 26'16''95$$

ح — طول الخط ا، ح = ع ظنا  $\alpha$

$$= 175,16 \times 514'14''03$$

$$= 1380,07 \text{ قدم}$$



## ثانياً — تعيين المسافات

### ١ — مسألة خط القاعدة المتكسر ( The Broken Base Problem )

ويوضح هذه المسألة خط القاعدة  $a$  ، شكل (٥١) الذي لا يمكن قياسه لوجود عقبة . ويمكن اتباع الأسلوب التالي في حل هذه المسألة في الخطوات التالية .

- ١ — يقاس الطولين  $s$  ،  $l$  .
- ٢ — تقاس الزوايا  $\alpha$  ،  $\beta$  ،  $\theta$  عند النقطة  $h$  .
- ٣ — لحساب  $b$  ح = ص يمكن اتباع عدة طرق .

الطريقة الأولى :

$$\text{في المثلث } a h b \quad h b = \frac{s \text{ جا } a}{\alpha}$$

$$\text{، في المثلث } a h c \quad h c = \frac{(s + v) \text{ جا } a}{(\beta + \alpha)}$$

وبذا :

$$\frac{h b}{h c} = \frac{s \text{ جا } (\beta + \alpha)}{(s + v) \text{ جا } \alpha} \quad \dots\dots\dots (١)$$

$$\text{وكذلك في المثلث } h c b \quad h b = \frac{(v + l) \text{ جا } b}{(\beta + \theta)}$$

$$\text{، في المثلث } h c b \quad h c = \frac{l \text{ جا } b}{\theta}$$

$$\therefore \frac{h b}{h c} = \frac{(v + l) \text{ جا } \theta}{l \text{ جا } (\beta + \theta)} \quad \dots\dots\dots (٢)$$



من المعادلتين (١) ، (٢) :

$$\frac{(ص + ل) جا \theta}{ل جا (\beta + \theta)} = \frac{س جا (\beta + \alpha)}{\alpha جا (ص + س)}$$

$$\frac{(ص + ل) جا \theta}{ل جا (\beta + \theta)} = \frac{س جا (\beta + \alpha)}{\alpha جا (ص + س)} \quad \text{أي أن } (ص + ل) (ص + س) = \frac{س ل جا (\beta + \alpha) جا (\beta + \theta)}{\alpha جا \theta}$$

حيث  $ص^2 + ص(ل + س) + ل(ص + س) = ٠$

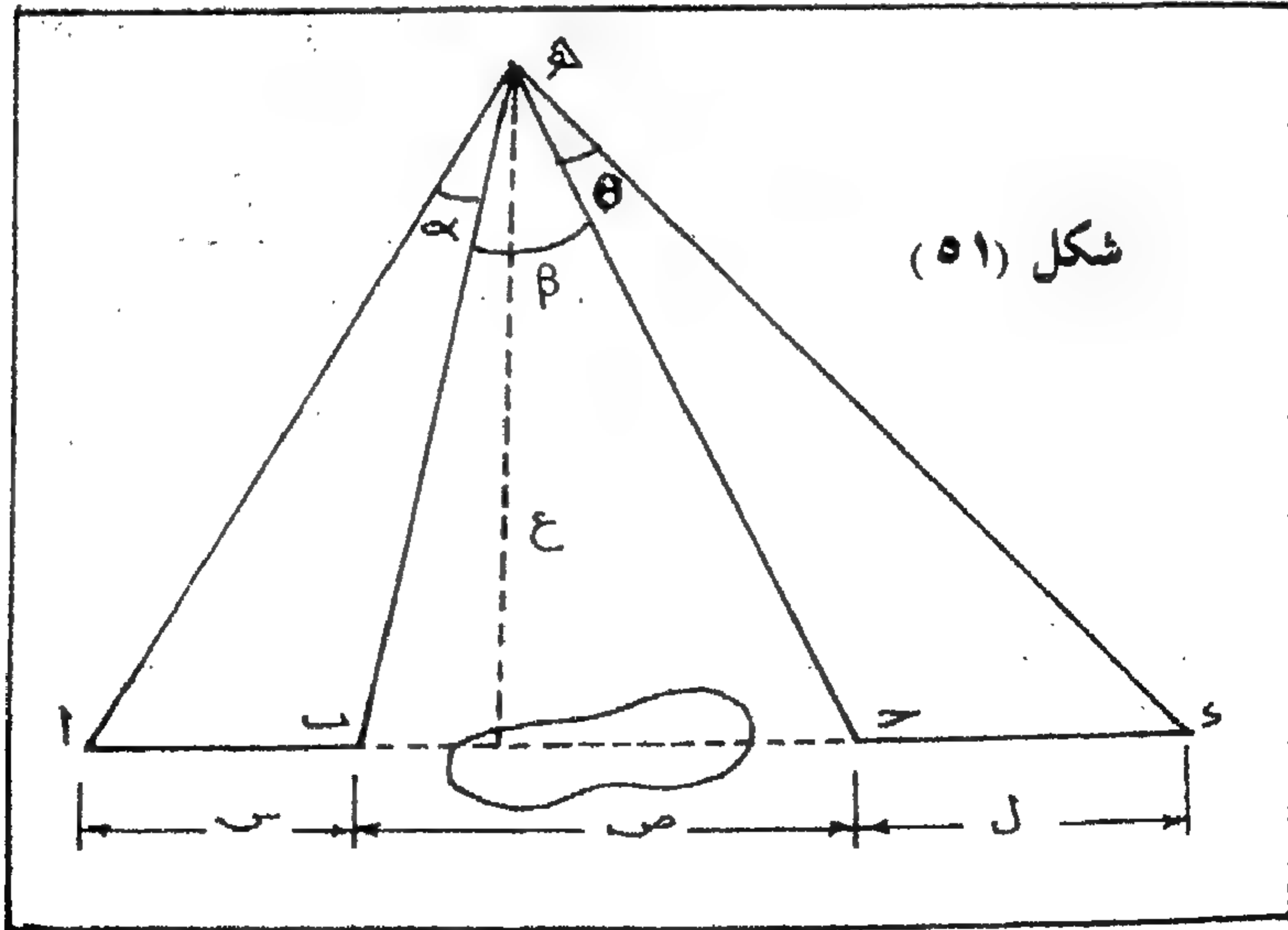
$$س ل [ \frac{جا (\beta + \alpha) جا (\beta + \theta)}{\alpha جا \theta} - ١ ] = ٠ \quad (٣) \dots\dots$$

هذه معادلة من الدرجة الثانية في ص .

$$ص = \frac{\sqrt{\frac{س ل جا (\beta + \alpha) جا (\beta + \theta)}{\alpha جا \theta} - ١} + \frac{ل + س}{٢}}{٢}$$

$$ص = \frac{\sqrt{\frac{س ل جا (\beta + \alpha) جا (\beta + \theta)}{\alpha جا \theta} - ١} + \frac{ل - س}{٢}}{٢}$$

(٣٨) \dots\dots





الطريقة الثانية :

$$(1) \dots \text{مساحة المثلث ا ب ه} = \frac{1}{2} \text{س ع} = \frac{1}{2} \text{ا ه} . \text{ه ب جا } \alpha \dots (1)$$

$$(2) \dots \text{مساحة المثلث ب ح ه} = \frac{1}{2} \text{ص ع} = \frac{1}{2} \text{ب ه} . \text{ه ح جا } \beta \dots (2)$$

$$(3) \dots \text{مساحة المثلث ح د ه} = \frac{1}{2} \text{ل ع} = \frac{1}{2} \text{ح ه} . \text{ه د جا } \theta \dots (3)$$

$$\text{مساحة المثلث ا د ه} = \frac{1}{2} (\text{س} + \text{ص} + \text{ل}) \text{ع}$$

$$(4) \dots \frac{1}{2} \text{ا ه} . \text{ه د جا } (\theta + \beta + \alpha) =$$

بقسمة (1) على (2)

$$(5) \dots \frac{\frac{1}{2} \text{ا ه جا } \alpha}{\frac{1}{2} \text{ه ح جا } \beta} = \frac{\text{س}}{\text{ص}}$$

بقسمة (3) على (4)

$$(6) \dots \frac{\frac{1}{2} \text{ه د جا } \theta}{\frac{1}{2} \text{ا ه جا } (\theta + \beta + \alpha)} = \frac{\text{ل}}{\text{س} + \text{ص} + \text{ل}}$$

بقسمة (5) على (6)

$$\frac{\frac{1}{2} \text{ا ه جا } \alpha}{\frac{1}{2} \text{ا ه جا } (\theta + \beta + \alpha)} = \frac{\text{س ل}}{\text{ص} (\text{س} + \text{ص} + \text{ل})}$$



$$\text{أى أن ص}^2 + \text{ص} (ل + س) - س ل \frac{\text{جا } \beta \text{ جا } (\theta + \beta + \alpha)}{\text{جا } \alpha \text{ جا } \theta} = \text{صفر}$$

$$\text{ص} = \frac{\text{جا } \alpha \text{ جا } \theta}{\text{جا } \beta \text{ جا } (\theta + \beta + \alpha)} س ل + \frac{1}{2} (ل + س) \sqrt{\frac{ل + س}{2}} + \frac{1}{2} (ل + س) \sqrt{\frac{ل + س}{2}} = \text{ص}$$

(٣٩) .....

الطريقة الثالثة (طريقة ماكاو)

لتجهيز حل لوغاريتمى تستعمل زاوية مساعدة

من المعادلة السابقة من الدرجة الثانية

$$\text{ص}^2 + \text{ص} (ل + س) - س ل \frac{\text{جا } \beta \text{ جا } (\theta + \beta + \alpha)}{\text{جا } \alpha \text{ جا } \theta} = \text{صفر}$$

(٤٠) .....

أى :

$$\frac{\text{جا } \alpha \text{ جا } \theta}{\text{جا } \beta \text{ جا } (\theta + \beta + \alpha)} س ل + \frac{1}{4} (ل + س)^2 = \left\{ \frac{1}{2} (ل + س) + \text{ص} \right\}^2$$

(٤١) .....



والآن نجعل :

$$(42) \dots \boxed{\frac{\text{ظا}^2 \text{ن} = 4 \text{س ل جا } \beta \text{ جا } (\theta + \beta + \alpha)}{(س + ل)^2 \text{ جا } \alpha \text{ جا } \theta}}$$

وبتعويض هذا في المعادلة (41) نحصل على :

$$\left\{ \text{ص} + \frac{1}{2} (س + ل) \right\} = \frac{1}{4} (س + ل)^2 (1 + \text{ظا}^2 \text{ن})$$

$$= \frac{1}{4} (س + ل)^2 \text{قا}^2 \text{ن}$$

$$\therefore \text{ص} + \frac{1}{2} (س + ل) = \frac{1}{2} (س + ل) \text{قان}$$

$$\text{ص} = \frac{1}{2} (س + ل) (1 - \text{قان})$$

$$= \frac{1}{2} (س + ل) (1 - \text{جتا} \text{ن})$$

$$(43) \dots \boxed{\text{ص} = \frac{1}{2} (س + ل) \text{قان جا } \frac{1}{2} \text{ن}}$$

مثال : عند قياس خط قاعدة اء أعترض القياس عقبة . وللتغلب على هذه الصعوبة أختيرت نقطتان ب ، ج على اء ثم أخذت أرصاد إليها من نقطة هـ كما يلي :

$$\text{الزاوية ا هـ ب} = 20^\circ 18' 02''$$



الزاوية ب ه ح = ٤٠ " ١٩ ' ٥٤٥

الزاوية ح ه د = ٢٠ " ٢٤ ' ٥٣٣

طول ا ب = ٥٢٧,٤٣ متر ، ح د = ٦٨٥,٢٩ متر أحسب طول الخط

ا د .

الحل :

$$\begin{aligned} ٥٦٥ \text{ ' } ٣٨ \text{ " } .. &= \beta + \alpha \\ ٥٩٩ \text{ ' } ٠٢ \text{ " } .. &= \theta + \beta + \alpha \\ ٥٧٨ \text{ ' } ٤٤ \text{ " } .. &= \theta + \beta \end{aligned} \left\{ \begin{aligned} ٥٢٠ \text{ ' } ١٨ \text{ " } ٢٠ &= \alpha \\ ٥٤٥ \text{ ' } ١٩ \text{ " } ٤٠ &= \beta \\ ٥٣٣ \text{ ' } ٢٤ \text{ " } ٢٠ &= \theta \end{aligned} \right.$$

$$\begin{aligned} ٦٠٦,٣٦ &= (س + ل) \frac{1}{2} \\ ٧٨,٩٣ &= (س - ل) \frac{1}{2} \end{aligned} \left\{ \begin{aligned} ٥٢٧,٤٣ &= س \\ ٦٨٥,٢٩ &= ل \end{aligned} \right.$$

بالطريقة الأولى :

$$ص = - ٦٠٦,٣٦ +$$

$$\sqrt{\frac{٥٧٨ \text{ ' } ٤٤ \text{ جا } ٥٦٥ \text{ ' } ٣٨ \text{ جا } ٦٨٥,٢٩ \times ٥٢٧,٤٣ + ٢(٧٨,٩٣)}{٥٣٣ \text{ ' } ٢٤ \text{ جا } ٥٢٠ \text{ ' } ١٨ \text{ جا } ٢٠}}$$

$$= - ٦٠٦,٣٦ + \sqrt{١٧٩٠٠٥٧ + ٦٢٣٠}$$

$$= - ٦٠٦,٣٦ + ١٣٠٢,٤١٥$$

$$= ٦٩٦,٠٥٥ \text{ متر}$$

وبذا فإن ا د = ١٢١٢,٧٢ + ٦٩٦,٠٥٥ = ١٩٠٨,٧٧٥ متر



بالطريقة الثانية :

$$\begin{aligned} & \sqrt{+ (6.6,36)} + 6.6,36 - = \text{ص} \\ & \frac{099 \cdot 2 \cdot 20 \text{ جا } 045 \cdot 19 \cdot 40 \text{ جا } 680,29 \times 027,43}{\text{جا } 20 \cdot 18 \cdot 020 \text{ جا } 20 \cdot 24 \cdot 033} \end{aligned}$$

$$\sqrt{1328614 + 367672} + 6.6,36 - =$$

$$1302,410 + 6.6,36 - =$$

$$= 696,050 \text{ متر}$$

بالطريقة الثالثة :

باللوغاريتمات

$$0,6020600 \quad \epsilon$$

$$2,7221648 \quad \text{س}$$

$$2,8358744 \quad \text{ل}$$

$$9,8519554 \quad \text{جا } \beta$$

$$9,9945731 \quad \text{جا } (\theta + \beta + \alpha)$$

$$10,4596372 \quad \text{قنا } \alpha$$

$$10,4591940 \quad \text{قنا } \theta$$

$$6,7254589$$

$$6,1675210$$

$$(س + ل)$$

$$0,5579379$$

$$\text{ظا } \alpha$$

$$0,2789689$$

$$\text{ظا } \theta$$

$$062 \cdot 15 \cdot 11 = \text{ن}$$

$$\frac{1}{2} \text{ن} = 031 \cdot 07 \cdot 36$$



۰,۴۴۲.۱۷۵	قان
۹,۷۱۳۴۳۳۲	جا ۱ ن
	۲
۹,۷۱۳۴۳۳۲	جا ۱ ن
	۲
۳,۰۸۳۷۶.۵	س +
<hr/>	
۲,۸۴۲۶۴۴۴	
۶۹۶,۰۵۵	ص =



## مسائل

١ — يراد حساب ارتفاع عامود كهرباء ( ح ) بالنسبة لمحطتين ا ، ب ( على منسوب واحد ) من الأرصاد التالية . أوجد الارتفاع من المحطتين إذا كان ارتفاع الجهاز عند كل من المحطتين ٥ أقدام . ا ب = ٢٠٠ قدم .

$$\begin{aligned} \text{الزاوية الأفقية عند ا} &= ١٢' ٥٧.٥ = \text{ب ا ح} \\ \text{عند ب} &= ٢٠' ٥٤.٠ = \text{ا ب ح} \\ \text{الزاوية الرأسية عند ا} &= ١٢' ٥٤.٣ \\ \text{عند ب} &= ١٣' ٥٣.٢ \end{aligned}$$

( الجواب : الارتفاع المتوسط ١٣٩,٨ قدم )

٢ — من قمة برج ارتفاعه ١٢٠ متر قيست زاوية الانخفاض للنقطة ا فكانت ٥١٥ ، لنقطة أخرى ب فكانت ٥١١ . انحرافا ، ب من البرج هي ٥٢٠٥ ، ٥١٣٧ على الترتيب . فإذا كانت ا ، ب تقعا في مستو أفقى يمر بقاعدة البرج . أحسب المسافة ا ب .

( الجواب : ٦١٢ متر )

٣ — ا ، ب ، ح ، د أربع علامات متتابة على طريق أفقى مستقيم . من نقطة ه ناحية الغرب من ا كان اتجاه ب = ٥٨٤ ، اتجاه د = ٥٧٧ ولم يمكن رؤية ح من ه نظراً لوجود أشجار . فإذا كان اتجاه الطريق من ا إلى د هو  $\theta$  . أحسب  $\theta$  ، وبعد ه من الطريق .

( الجواب  $\theta = ٥٠'' ٠٦' ٥٦.٠$  ، ه ا = ٣,٨٧٣٨ ميل )

٤ — عند نقطة ا رصد شخص زاوية ارتفاع قمة برج فكانت ١٥' ٥٤٢ . مسار الراصد ٢٠٠ ياردة صاعداً على طريق منتظم الميل قدره .



٥١٢ في اتجاه البرج مباشرة فوجد أن زاوية ارتفاع ب قد زادت إلى  $٥٢٣.٩^\circ$   
أحسب ارتفاع ب فوق منسوب أ .

( الجواب ٨٢٣,٨٢ قدم )

٥ — من نقطتين تبعدان عن بعض بمقدار ٥٠٠ ياردة على مستوى أفقى .  
أخذت أرصاد زاوية انحراف وزاوية ارتفاع طائرة في آن واحد . فكانت عند  
إحدى النقط زاوية الانحراف  $٥٤١^\circ$  وزاوية الارتفاع  $٥٢٤^\circ$  ، وعند نقطة أخرى  
الانحراف  $٥٣٢^\circ$  وزاوية الانحراف  $٥١٦^\circ$  . احسب ارتفاع الطائرة فوق المستوى

( الجواب ١١٣٩ قدم )

٦ — ثلاث نقط س ، ص ، ل تقع على خط مستقيم في نفس المستوى .  
أخذت مجموعة زوايا ارتفاع لقمة مدخنة تقع على أحد جوانب الخط س ص ل  
وذلك من س ، ص ، ل فكانت عند س  $= ٥١٤.٢^\circ$  وعند ص  $٥٢٦.٣٤^\circ$  ،  
عند ل  $= ٥١٨.٢٦^\circ$  وطول س ص  $= ٤٠٠$  قدم ، ص ل  $= ٢٤٠$  قدم .  
احسب ارتفاع المدخنة فوق س .

( الجواب ١١٢,٠ قدم )

٧ — خط مستقيم ا ب ح د لم يمكن قياس الجزء ب ح مباشرة . فإذا كان  
ا ب  $= ٥٧٥,٦٤$  متر ، ح د  $= ٧٢٨,٥٦$  متر والزوايا التي قيست من محطة  
ه على أحد جوانب ا ب ح د فكانت د ه ح  $= ٥٥٦.٤٠^\circ$  ،  
ح ه ب  $= ٥٤٠.٣٢.٠٠^\circ$  ، ب ه ا  $= ٥٣٥.٥٦.٣٠^\circ$  احسب طول ب ح .

( الجواب ٢٥٩,٣٢ متر )

٨ — من نقطة أ عند سفح تل رصدت زاوية ارتفاع قمة برج فوق التل  
فكانت  $٥١٨.٥١^\circ$  . ومن نقطة ب على جانب التل وفي نفس المستوى الرأسى  
مع أ والبرج كانت زاوية ارتفاع قمة البرج  $٥٧١.٤٠^\circ$  . ا ب يضع زاوية



قدرها ٥٢٠ مع الأفقى ، ا ب = ٥٢ متر . احسب ارتفاع قمة البرج عن ا .  
( الجواب ٩١,٥ متر )

٩ — نقطتان ا ، ب على طريق أفقى مستقيم وعلى بعد ٤٠٠ قدم من بعض . يوجد صارى علم رأسى ارتفاعه ١٠٠ قدم وعلى بعدين متساويين من ا ، ب . الزاوية المحصورة بالخط ا ب عند ح قاعدة الصارى ( وهى فى نفس المستوى الأفقى للطريق ) تساوى ٥٨٠ . أوجد :

ا — المسافة من الطريق إلى قاعدة الصارى .  
ب — الزاوية المحصورة بواسطة ا ب عند قمة الصارى .

( الجواب ا — ٢٥٨,٥ قدم ، ب — ٢٨ ٥٧٥ )

١٠ — يراد إيجاد البعد بين نقطتين ا ، ب لا يمكن الوصول إليهما من أرصاد من نقطتين ح ، د البعد بينهما ١٠٠٠ متر . الزاوية ا ح ب = ٥٤٧ ، ب ح د = ٥٥٨ ، ب د ا = ٥٤٩ ، ا د ح = ٥٥٩ . احسب المسافة ا ب .

( الجواب ٢٩٠٧,٤ متر )

١١ — رصدت زاوية ارتفاع قمة جبل من ا طرف خط قاعدة ا ب طوله ٢٩٩٢,٥ متر فكانت ٤٢ ٥١٩ . والزاويتان الأفقيتان عند ا ، ب كانت ٥٤ ٥١٢٧ ، ٥٣٣,٩ على الترتيب . أوجد ارتفاع الجبل .

( الجواب ١٨٠٤ متر )



القسم الثاني  
ترافرسات التيودوليت







## تقديم

عند إجراء عمليات الرفع الدقيق للمناطق نلجأ إلى ترافرس التيودوليت وحسب طبيعة المنطقة يكون شكل الترافرس المستخدم ، فإذا ما كانت المنطقة محدودة فيكفى تشكيل ترافرس على شكل حلقة واحدة مقفلة وهو ما سبق وأن تناولناه بالتفصيل في المؤلف الأول من هذه الموسوعة من حيث اختيار نقطة وقياس عناصره من أطوال للأضلاع والزوايا الداخلية بين الأضلاع إلى تصحيح أرصاده والحصول على إحداثيات نقطه المصححة .

أما إذا كانت المنطقة المطلوب رفعها يوجد على حدودها أو داخلها نقط ترافرسات قديمة ( أربعة على الأقل كما سنوضح ) فإنه يتم تشكيل ترافرسات من النوع الموصل في المنطقة لرفعها .

وإذا كانت المنطقة ممتدة طولياً وليست بذات أهمية — كتحديد خط الشاطئ مثلاً — فإنه يكتفى بتشكيل ترافرس من النوع المفتوح ملاصق لمنطقة الرفع .

وإذا كانت المنطقة المراد رفعها من الاتساع بحيث لا يكفي لتغطيتها مضلع واحد مقفل ، فإننا نلجأ إلى تكوين شبكة من الترافرسات مكونة من مجموعة من الحلقات المقفلة .

وإذا تواجدت في المنطقة المتسعة نقط ترافرسات قديمة فإن شبكة الترافرسات التي تشكل لرفعها من الممكن أن تتكون من مجموعة من الحلقات الموصلة ، أو من حلقات مقفلة وموصلة .

وفي الأبواب التالية سوف نقدم كل ما يختص بالترافرسات الموصلة والمفتوحة وشبكات الترافرسات وترافرسات المشروعات وترافرسات المدن والأرياف .







الباب الخامس  
الأرصاء الناقصة  
فى الترافرسات  
أسس رياضية فى حساب  
الترافرسات

أولاً - إيجاد احداثيات نقطة مثل ( ب ) إذا علمت احداثيات نقطة  
مثل ( ا ) وطول وانحراف الخط الواصل بينهما :  
فى شكل ( ٥٢ ) :

نفرض أن :

$\Delta$  س = الفرق الجبرى بين الأحداثيات السينية للنقطتين .

$\Delta$  ص = الفرق الجبرى بين الأحداثيات الصادية للنقطتين .

ل = طول الخط ا ب =  $\sqrt{(\Delta \text{ س})^2 + (\Delta \text{ ص})^2}$

ه = انحراف الخط ا ب

$\Delta$  ص = ص<sub>ب</sub> - ص<sub>ا</sub> = ل جتا ه

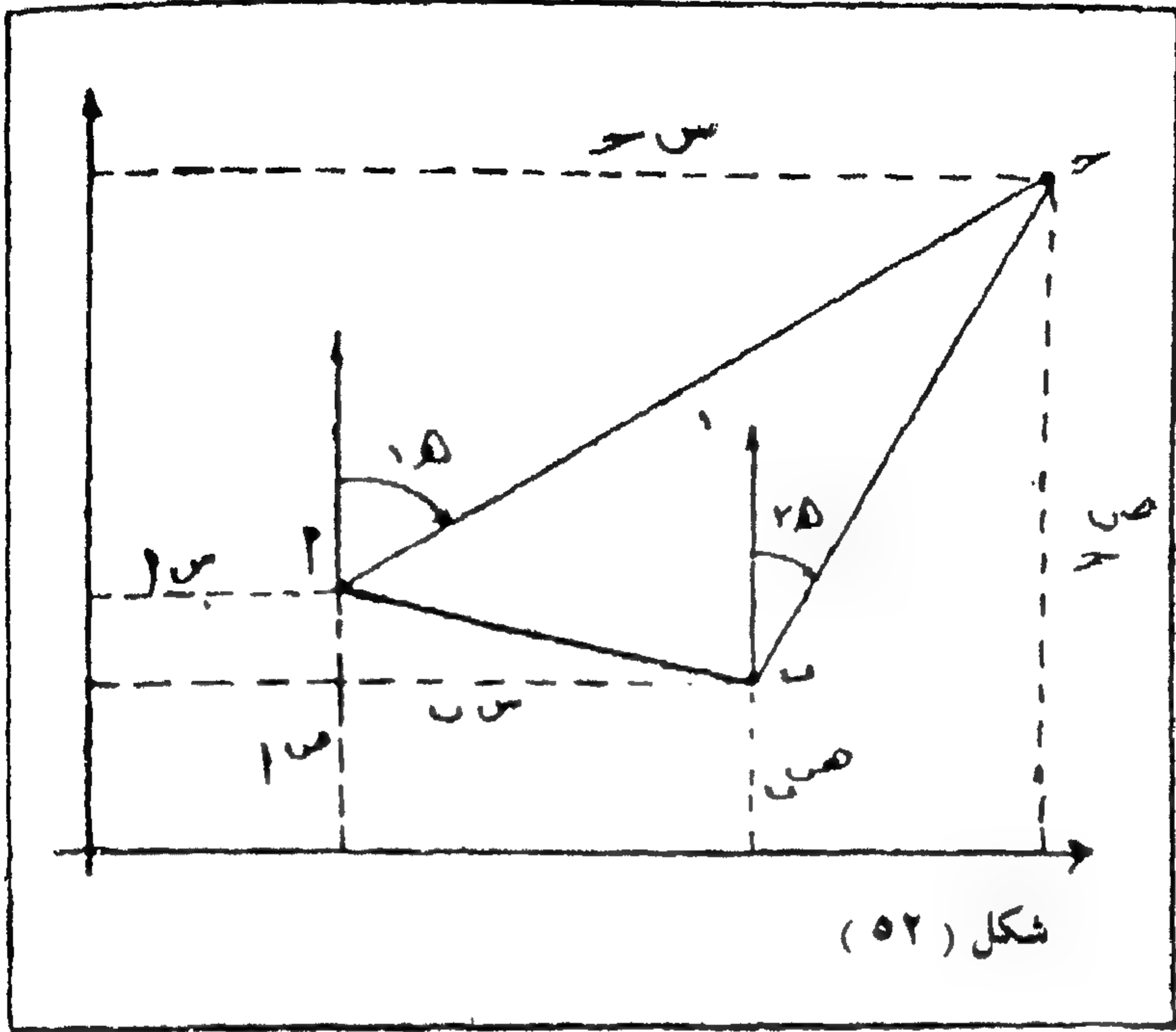
$\Delta$  س = س<sub>ب</sub> - س<sub>ا</sub> = ل جا ه

ص<sub>ب</sub> = ص<sub>ا</sub> + ل جتا ه

س<sub>ب</sub> = س<sub>ا</sub> + ل جا ه

ويجب مراعاة الإشارات .





مثال : أوجد إحداثيات النقطة (٢) إذا كانت إحداثيات النقطة (١) هي :

ص<sub>١</sub> = ٧٣٣,٤٤ ، س<sub>١</sub> = ٤٩٩,٦٥ وانحراف (١) - (٢) = ١٥° ٣٢' ٥١٤٠ .

وطول ١ - ٢ = ٥١٦,٩٠ متر

الحل :

المركبة الأفقية للخط = ل جاه = ٣٢٨,٥٢٨ متر

المركبة الرأسية للخط = ل جتا هـ = ٣٩٩,٠٦٨ متر

∴ س<sub>٢</sub> = س<sub>١</sub> + المركبة الأفقية (٢ - ١)

= ٣٢٨,٥٢٨ + ٤٩٩,٦٥ = ٨٢٨,١٧٨ متر



$$ص_2 = ص_1 + \text{المركبة الرأسية} (٢ - ١)$$

$$= ٧٣٣,٤٤ - ٣٩٩,٠٦٨ = ٣٣٤,٣٧٢ \text{ متر}$$

ثانياً - المعلوم احداثيات نقطتين والمطلوب :

١ - انحراف الخط الواصل بينهما .

٢ - مركبات الضلع الواصل بينهما .

٣ - طول الضلع الواصل بينهما .

نفرض أن ( أ ) ، ( ب ) هما النقطتان المعلوم احداثياتهما .

$$(٤٤) \dots \quad \frac{\text{ظا انحراف ا ب}}{\text{ص ر - ص ١}} = \frac{\text{ل جا ه}}{\text{ل جتا ه}}$$

$$(٤٥) \dots \quad \sqrt{(\text{ص ر - ص ١})^2 + (\text{ل جا ه})^2} = \text{ل}$$

$$(٤٦) \dots \quad \frac{\Delta \text{ س}}{\text{جا انحراف ا ب}} = \frac{\text{ص ر - ص ١}}{\text{ل جا ه}} = \text{ل}$$

$$(٤٧) \dots \quad \frac{\Delta \text{ ص}}{\text{جتا انحراف ا ب}} = \frac{\text{ص ر - ص ١}}{\text{جتا ه}} = \text{ل}$$

١ - تفضل المعادلة (٤٥) إذا كنا سنستعمل الآلة الحاسبة .

٢ - تفضل المعادلتان (٤٦) ، (٤٧) إذا كنا سنستعمل اللوغاريتمات .



٣ - إذا كانت س - س أكبر من ص - ص نستعمل المعادلة (٤٦) .

٤ - وإذا كانت ص - ص أكبر نستعمل المعادلة (٤٧) .

والربع يتعين بإشارة كل من البسط والمقام .

مثال : ما انحراف الخط ا ب إذا كانت إحداثيات :

ا : الأفقى - ١٠٠ والرأسى + ٦٢,٦

ب : ٨٧,٤ + ٤٢,٤ +

$$\text{ظا انحراف ا ب} = \frac{187,4 +}{20,2 -} = \frac{(100 -) - 87,4}{62,6 - 42,4}$$

$$9,277227 =$$

الأنحراف المختصر : ح ٥٢ " ٥٠ ' ٥٨٣ و ( الربع يحدد بأشارات البسط والمقام )

الأنحراف الدائرى : ٠,٨ " ٠,٩ ' ٥٩٦

$$\text{طول ا ب} = \sqrt{(100 + 87,4)^2 + (62,6 - 42,4)^2} = 188,4855 \text{ متراً}$$

$$\text{أو طول ا ب} = \frac{187,4}{583 \ 50 \ 52 \text{ جا}} = \frac{\text{س} - \text{س}}{\text{جا ه}} = 188,4855 \text{ م}$$

$$188,4850 = \frac{20,2}{583 \ 50 \ 52 \text{ جتا ه}} = \frac{\text{ص} - \text{ص}}{\text{جتا ه}}$$

وواضح من هنا الخطأ الناتج من استعمال المعادلة الأخيرة .



ثالثاً - تعيين أحداثيات نقطة ( ح ) مرصودة من نقطتين ١ ، ب معلوم  
أحداثيات كل منهما والانحرافين منها ( هـ<sub>١</sub> ، هـ<sub>٢</sub> ) إلى النقطة ح شكل  
( ٥٢ ) .

إذا كانت إحداثيات نقطة ح هي س ح ، ص ح

فإن س ح ( محسوبة من أ )

$$س ح = س ١ + ( ص ح - ص ١ ) \text{ ظاهر } ١$$

، س ح ( محسوبة من ب )

$$س ح = س ٢ + ( ص ح - ص ٢ ) \text{ ظاهر } ٢$$

ومنها :

$$\frac{(س ١ - س ٢) + (ص ١ \text{ ظاهر } ١ - ص ٢ \text{ ظاهر } ٢)}{\text{ظاهر } ١ - \text{ظاهر } ٢} = ص ح$$

..... (٤٨)

وبحساب ص ح يمكن الحصول على س ح من إحدى المعادلتين :

..... (٤٩)

$$س ح = س ٢ + (ص ح - ص ٢) \text{ ظاهر } ٢$$

..... (٥٠)

$$= س ١ + (ص ح - ص ١) \text{ ظاهر } ١$$



## الأرصاء الناقصة

( Omitted Measurements )

في أى مضلع مقفل ، إذا علمت الأطوال للأضلاع  $l_1, l_2, l_3, \dots$  ، والانحرافات  $h_1, h_2, h_3, \dots$  فإن هناك شرطين يجب أن يتحققا .

$$\begin{aligned} l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos \theta_3 + \dots &= \text{مجموع المركبات الرأسية} = \text{صفر} \\ l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2 + l_3 \sin \theta_3 + \dots &= \text{مجموع المركبات الأفقية} = \text{صفر} \end{aligned}$$

..... (٥١)

ومن هاتين المعادلتين يمكن تعيين أى مجهولين في المعادلات ، سواء أكانت طول أو انحراف . وكثيراً ما يحدث في الناحية العملية أو يتعذر قياس طول خط أو انحراف خط آخر ... ويمكن من هاتين المعادلتين أن نعين المجهول أو المجهولين ، ولكن العيب هو عدم اكتشاف إذا ما كانت هناك أرصاء خاطئة أم لا ، إذ أن الحل ليس له تحقيق لأن كل الأخطاء الممكن والمحتمل حدوثها تلقى عبثاً على المجهول ، لذلك لا نلجأ لها إلا للضرورة ، ولذا يراعى الدقة في رصد الكميات الممكنة كما يجب تحقيق العمل كلما تسنى ذلك .

وهناك ست حالات للمجاهيل في حالة الأرصاد الناقصة نوردتها فيما يلي :

### أولاً - المجهول طول ضلع واحد

المجموع الجبرى للمركبات الرأسية للأضلاع المعلومة = ص  
المجموع الجبرى للمركبات الأفقية للأضلاع المعلومة = س  
وبذا فإن المركبة الرأسية للضلع المجهول = - ص



والمركبة الأفقية للضلع المجهول =  $s -$

طول الضلع المطلوب =  $\sqrt{s^2 + ص^2}$

ويجب أن يتحقق أن الانحراف المرصود لهذا الضلع يكون مساوياً للانحراف المحسوب من واقع الأرصاد الناقصة أو الفرق في حدود المسموح به .

$$\text{الانحراف المرصود} \equiv \text{ظا} - \frac{s -}{ص -} \dots (٥٢)$$

### ثانياً — المجهول انحراف ضلع واحد

كما في الحالة السابقة فيكون :

$$\text{ظا الانحراف المختصر للضلع المجهول} = \frac{s -}{ص -}$$

حيث  $s -$  ، ص المجموع الجبرى للمركبات الأفقية والرأسية للأضلاع المعلومة .

ومن الإشارة الجبرية للمركبتين للضلع المجهول يمكن تعيين ربع الدائرة الذى يقع فيه الخط ثم الانحراف الدائرى ، والحالتين الأولى والثانية مجتمعة مبينة في الحالة الثالثة .

### ثالثاً — المجهول طول ضلع وانحرافه

نقابل هذه الحالة كثيراً في الناحية العملية لإيجاد طول وانحراف خط يتعذر قياسه وقياس انحرافه بالطريق المباشر ، فيشكل ترافرس يبتدىء من إحدى النقطتين وينتهى عند الأخرى وتقاس الزوايا عند كل النقط ماعدا هاتين النقطتين . بذلك يمكن إيجاد انحرافات كل الخطوط ما عدا الخط الواصل بين



هاتين النقطتين ثم تقاس أطوال الخطوط في هذا الترافرس عدا الخط الواصل بين النقطتين فالجهول الآن طول وانحراف الخط بين النقطتين .

مثال ١ : ا ب ح د مضع قيست أطوال أضلاعه ا ب ، ب ح ، ح د وحسبت انحرافاتهما كما في جدول ( ٤ ) والمطلوب حساب طول وانحراف ا د .

الحل :

١ - نحسب الانحرافات المختصرة بالطريقة العادية ثم نحسب مركبات الأضلاع ونجمعها جبرياً . مركبات د ا طبقاً للمعادلة ( ٥١ ) تساوى مجموع مركبات كل الأضلاع بعكس الإشارة .

جدول ( ٤ )

الخط	الطول	الانحراف الدائري	الانحراف المختصر	المركبة الأفقية	المركبة الرأسية
ا ب	٤٢,٥٠	٣٧,٥ ٠١٥٩	ح ٢٢,٥ ٠٢٠ ق	١٤,٧٩٧ +	٣٩,٨٤١ -
ب ح	٣٨,١٥	٥٢ ٢٢١	ح ٥٢ ٤١ غ	٢٥,٤٦١ -	٢٨,٤١٠ -
ح د	٣٥,٠٠	٣٥ ٣٥٦	ش ٢٥ ٠٣ غ	٢,٠٨٦ -	٣٤,٩٣٧ +
د ا	?	د	د	س ١	ص د ١
المجموع				١٢,٧٥٠ -	٣٣,٣١٤ -
مركبات د ا				١٢,٧٥٠ +	٣٣,٣١٤ +

$$\text{ظا الانحراف المختصر للضلع د ا} = \frac{١٢,٧٥٠ +}{٣٣,٣١٤ +} = ٠,٣٨٢٧٢٢$$

∴ الضلع في الربع الأول لأن إشارة كل من س ، ص موجبة .

$$\text{الانحراف المختصر} = \text{ش } ٣٤,٦ " ٥٦ ' ٠٢٠ \text{ ق}$$

$$\text{∴ الانحراف الدائري} = ٣٤,٦ " ٥٦ ' ٠٢٠$$

$$\text{∴ طول الخط} = \sqrt{(٣٣,٣١٤)^2 + (١٢,٧٥٠)^2} = ٣٥,٦٧ \text{ متراً}$$



مثال ٢ - أوجد من الأطوال وانحرافات المختصرة للأضلاع ا ب ،  
 ب ح ، ح د ، د ه ، ه و المعلومة في المضلع المقفل ا ب ح د ه و ا  
 طول وانحراف و ا جدول ( ٥ ) .

الحل :

جدول (٥)

الخط	الطول ( متر )	الانحراف المختصر	المركبة الرأسية	المركبة الأفقية
ا ب	٣١٠	ش ٠٦٦ ق	١٢٦,٠٩ +	٢٨٣,٢٠ +
ب ح	٤٠٧	ح ٠٨٥ ق	٣٥,٤٧ -	٤٠٥,٢٥ +
ح د	٢٢٤	ح ٠٥٣ ق	١٣٤,٨٠ -	١٧٨,٩٠ +
د ه	٣٠٢	ش ٠٦٩ ق	١٠٨,٢٢ +	٢٨١,٩٤ +
ه و	١٦٦	ش ٠١٢ ق	١٦٢,٣٧ +	٣٤,٥١ +
		المجموع	٢٢٦,٤١ +	١١٨٣,٨٠ +
		الخط و ا	٢٢٦,٤١ -	١١٨٣,٨٠ -

بحساب مركبات الأضلاع المعلومة يتم الحصول على مركبات الضلع  
 المجهول كما هو مبين بالجدول وعليه يكون :

$$\text{ظا الانحراف للخط و ا} = \frac{١١٨٣,٨٠ -}{٢٢٦,٤١ -} = ٥,٢٢٨٦$$

والضلع يقع في الربع الثالث نظراً لأن اشارتي البسط والمقام سالبة .

$$\text{الانحراف المختصر} = \text{ح } ٢١,١ " ١٠ ' ٥٧٩ \text{ غ}$$

$$\therefore \text{الانحراف الدائري} = \text{ش } ٢١,١ " ١٠ ' ٥٢٥٩$$

$$\text{طول ا و} = \frac{١١٨٣,٨٠}{\text{جا } ٢١,١ " ١٠ ' ٥٧٩} = ١٢٠٥,٢٥ \text{ متراً}$$

$$١٢٠٥,٢٥ \text{ متر مربع} = \sqrt{(١١٨٣,٨)^2 + (٢٢٦,٤١)^2}$$



#### رابعاً - المجهول طول ضلع وانحراف ضلع آخر

نفرض في المثال (١) السابق أن المجهول هو طول  $a$  ، وانحراف  $c$  ،  
نرتب الجدول مع وضع المجاهيل ونجمع المركبات الأفقية والرأسية كل على حدة  
فتتكون معادلتان آانيتان في المجهولين كما هو مبين فيما يلي :

جدول (٦)

الخط	الطول	الانحراف المختصر	المركبة الرأسية	المركبة الأفقية
أ ب	٤٢,٥٠	ح ٣٠ ٢٢ ٥٠٢٠	٣٩,٨٤ -	١٤,٨٠ +
ب ح	٣٨,١٥	ح ٥٠ ٥٢ ٥٠٤١	٢٥,٤٦ -	٢٨,٤١ -
ح د	٣٥,٠٠	هـ	٣٥ جتا هـ	٣٥ جا هـ
د أ	ل	ش ٤٠,٨ ٣٩ ٥٠٣٧	٠,٧٩٣١ + ل	٠,٦٠٩٢ + ل

المعادلتان : — ٦٥,٣ + ٣٥ جتا هـ + ٠,٧٩٣١ ل = صفر (١)

— ١٣,٦١ + ٣٥ جا هـ + ٠,٦٠٩٢ ل = صفر (٢)

نضع جا هـ ، جتا هـ في طرف ونربع المعادلتين ونجمعهما فتضيع هـ

$$^2(٣٥ جتا هـ) = ^2(٠,٧٩٣١ ل - ٦٥,٣٠)$$

$$^2(٣٥ جا هـ) = ^2(٠,٦٠٩٢ ل + ١٣,٦١)$$

$$ل^2 - ١٢٠,١٦ ل + ٣٢٢٤,٣٢ = صفر$$

$$ل = \frac{١٢٠,١٦ \pm \sqrt{(١٢٠,١٦)^2 - ٤ \times ٣٢٢٤,٣٢}}{٢}$$

ومن هذه المعادلة نلاحظ أن للمسألة حلان .

الحل الأول : ل = ٧٩,٧١ متر

وبالتعويض في (١) جتا هـ = ٠,٠٥٩٤٨٥٧ +



الأنحراف المختصر =  $22,9'' 35' 086''$

ولو عوضنا في المعادلة (٢) لكنت جا هـ بالسالب أى أن الضلع واقع في الربع الرابع وبذلك يكون الانحراف الدائرى للضلع :

هـ =  $37,1'' 24' 0273''$

الحل الثانى : ل =  $40,45$  متر وبالتعويض في المعادلة الأولى

∴ جتا هـ =  $0,949188$

وبالتعويض في المعادلة الثانية يكون جا هـ = سالب

أى أن الضلع يقع في الربع الرابع .

∴ الأنحراف المختصر هو ش  $41,2'' 21' 018''$  غ

وبذا يكون الأنحراف الدائرى هو  $18,8'' 38' 0341''$

#### خامساً — المجهول طولاً ضلعين

بجمع المركبات الأفقية والرأسية في هذه الحالة نحصل على معادلتين المجهول فيهما  $ل_1$  ،  $ل_2$  فتحل آنياً بدون أى صعوبة ونحصل منهما على طولى الضلعين المجهولين  $ل_1$  ،  $ل_2$  .

مثال — ا ، ب نقطتان أحداثياتهما ٤ شرقاً ، ٦ شمالاً ثم ١٣ شرقاً ، و ٤ شمالاً على الترتيب . رصدت نقطة ح فكان انحرافها من ا =  $60''$  وانحرافها من ب =  $330''$  أوجد أحداثيات نقطة ح .

الحل :

نعتبر ا ب ح مضلع به طول كل من ا ح ، ب ح مجهولان وليكونا  $ل_1$  ،  $ل_2$  والطول ا ب فيه معلوم .



مركبات ا ب هي :

$$س ا ر = س ر - س ا = ١٣ - ٤ = ٩$$

$$ص ا ر = ص ر - ص ا = ٦ - ٤ = ٢$$

ولتكوين المعادلتين نستعين بالجدول التالي مع مراعاة أن انحراف ح ا هو الخلفى لانحراف ا ح .

جدول (٧)

مركبات رأسية	مركبات أفقية	انحراف	الطول	
٢ -	٩			ا ب
$٢ ل, ٨٦٦.٣ +$	$٢ ل, ٥٠ -$	٥٣٣.٠	$٢ ل$	ب ح
$١ ل, ٥٠ -$	$١ ل, ٨٦٦.٣ -$	٥٢٤.٠	$١ ل$	ح ا

وبجمع المركبات الأفقية والرأسية :

$$(١) \quad ٩,٠٠ - ٢ ل, ٥٠ - ١ ل, ٨٦٦.٣ = \text{صفر}$$

$$(٢) \quad ٢,٠٠ - ٢ ل, ٨٦٦.٣ + ١ ل, ٥٠ = \text{صفر}$$

بضرب (١) في ٨,٦٦.٣ ، (٢) في ١,٥٠ وبالجمع :

$$\therefore ٦,٧٩٤ = ١ ل$$

بالتعويض في (١) بقيمة ل .

$$\therefore ٦,٢٣ = ٢ ل$$

∴ إحداثيات ح هي :



$$س ح = س ١ + المركبة الأفقية للضلع ا ح$$

$$٩,٨٨ = ٤,٠٠ + ل ١ جا ٥٦٠ =$$

$$ص ح = ص ١ + المركبة الرأسية للضلع ا ح$$

$$٩,٣٩ = ٦ + ل ١ جتا ٥٦ =$$

ويمكن حساب إحداثيات ح عن طريق إحداثيات ب ويكون هذا تحقيقاً للعمل .

$$س ح = س ٢ + المركبة الأفقية للضلع ب ح$$

$$٩,٨٨ = ١٣ - ل ٢ جا ٣٠ =$$

$$ص ح = ص ٢ + المركبة الرأسية للضلع ب ح$$

$$٩,٣٩ = ٤ + ل ٢ جتا ٣٠ =$$

سادساً — المجهول انحرافا ضلعين

تؤول المعادلتان إلى :

$$ل ١ جتا ه ١ + ل ٢ جتا ه ٢ = ص .....$$

$$ل ١ جا ه ١ + ل ٢ جا ه ٢ = س .....$$

حيث المجهولان هما ه ١ ، ه ٢ فقط ، أما س ، ص فتمثلا المجموع الجبرى لباقي المركبات الأفقية والرأسية المحسوبة للأضلاع المعلومة ، ل ١ ، ل ٢ هما طولى الضلعين المجهول انحرافهما .

وبأعادة كتابة المعادلة السابقة نحصل على :

$$ل ١ جتا ه ١ = ص - ل ٢ جتا ه ٢$$

$$ل ١ جا ه ١ = س - ل ٢ جا ه ٢$$

وبالتربيع والجمع ينتج أن :



$$(1) \dots \frac{{}_1^2 L - {}_2^2 L + {}^2 ص + {}^2 س}{{}_2^2 L} = {}_2^2 \text{ جا ه} + {}_2^2 \text{ ص جتا ه}$$

بالاستعانة بزاوية مساعدة (  $\theta$  ) حيث :

$$\theta = \frac{{}_1^2 \text{ ظا} - {}_1^2 \text{ س}}{{}_2^2 \text{ ص}}$$

فإن :

$$\frac{{}_2^2 \text{ ص}}{\sqrt{{}_2^2 \text{ ص} + {}^2 س}} = \theta \text{ جتا} , \frac{{}_2^2 \text{ س}}{\sqrt{{}_2^2 \text{ ص} + {}^2 س}} = \theta \text{ جا}$$

وبقسمة طرفي المعادلة (1) على الوتر  $\sqrt{{}_2^2 \text{ ص} + {}^2 س}$  نحصل على :

$$\theta \text{ جا} = \frac{{}_1^2 \text{ ظا} - {}_2^2 \text{ ل} + {}^2 ص + {}^2 س}{\sqrt{{}_2^2 \text{ ص} + {}^2 س}} = \theta \text{ جتا} + {}_2^2 \text{ جا ه}$$

أى أن :

$$\theta \text{ جتا} ( \theta - {}_2^2 \text{ ه} ) = \text{ك} = \text{مقدار ثابت}$$

وعليه فإن :

$$\theta - {}_2^2 \text{ ه} = \text{جتا} - {}_1^2 \text{ ك}$$

$$\therefore \theta - {}_2^2 \text{ ه} = \text{جتا} - {}_1^2 \text{ ك} + \theta$$

وبالتعويض في إحدى المعادلتين الأساسيتين نحصل على  $\theta$  .

مثال : مضلع ا ب ح د ا فيه :

طول	انحراف
ا ب	٢
٢٠٠	



ب ح	٣٥٠	٥١٠٢
د ح	١٥٠	؟
د ح	٤٠٠	٥٢٧٠

والمطلوب : إيجاد انحراف كل من ا ب ، ح د .

الحل :

نفرض انحراف ا ب ، ح د هما  $\theta_1$  ،  $\theta_2$  على الترتيب . وبحساب المركبات للأضلاع المعلومة وبالجمع نحصل على :

$$(١) \quad ٢٠٠ \text{ جـا } \theta_1 + ١٥٠ \text{ جـا } \theta_2 = ٥٨$$

$$(٢) \quad ٢٠٠ \text{ جـتا } \theta_1 + ١٥٠ \text{ جـتا } \theta_2 = ٧٦$$

وتصبح هاتين المعادلتين على الصورة :

$$(٣) \quad ٢٠٠ \text{ جـا } \theta_1 = ٥٨ - ١٥٠ \text{ جـا } \theta_2$$

$$(٤) \quad ٢٠٠ \text{ جـتا } \theta_1 = ٧٦ - ١٥٠ \text{ جـتا } \theta_2$$

وبترتيب (٣) ، (٤) والجمع ينتج أن :

$$\times ١٥٠ \times ٢ - {}^2(١٥٠) + {}^2(٧٦) + {}^2(٥٨) = {}^2(٢٠٠)$$

$$(٥٨ \text{ جـا } \theta_1 + ٧٦ \text{ جـتا } \theta_2)$$

$$\frac{{}^2(٢٠٠) - {}^2(١٥٠) + {}^2(٧٦) + {}^2(٥٨)}{١٥٠ \times ٢} = ٥٨ \text{ جـا } \theta_1 + ٧٦ \text{ جـتا } \theta_2$$

$$= \frac{{}^2(٢٠٠) - {}^2(١٥٠) + {}^2(٧٦) + {}^2(٥٨)}{١٥٠ \times ٢} = (٥٨ \text{ جـا } \theta_1 + ٧٦ \text{ جـتا } \theta_2)$$

$$\sqrt{{}^2(٧٦) + {}^2(٥٨)} \sqrt{٣٠٠}$$

$$= ٠,٢٩١٤٨٢١٢$$

$$\text{حيث ظا } \theta = \frac{٥٨}{٧٦} \text{ ومنها } \theta = ٥٨' ٢٠''$$



وحيث أن جتا  $(\theta - \varphi)$  سالبة فإن  $(\theta - \varphi)$  تقع إما في الربع الثاني أو الثالث .

$$(\theta - \varphi) = ٤٨^{\circ} ٥٦' ٥١.٦ \text{ أو } ١٢^{\circ} ٠٣' ٥٢.٣$$

وتكون  $\varphi$  مساوية :

$$\varphi = ٤٦^{\circ} ١٧' ٥١.٤٤ \text{ أو } ١٠^{\circ} ٢٤' ٥٢.٩٠$$

وبالتعويض في المعادلة (١) :

$$٢٠٠ \text{ جاه } + ٨٧,٥٤ - ٥٨ = \text{ صفر}$$

$$\therefore \text{ جاه } = -٠,١٤٧٦٩٧$$

وتكون  $\varphi$  إما في الربع الثالث أو الربع الرابع وبذلك تكون مساوية .

$$\varphi = ٣٦,٦^{\circ} ٢٩' ٥١.٨٨$$

$$\text{أو } \varphi = ٢٣,٣^{\circ} ٣٠' ٥٣.٥١$$



## تمارين

١ — قذفت إحدى بطاريات المدفعية عند نقطة أ الموجودة في إحدى المناطق طائرة معادية فهوت عمودية ، وأثناء سقوطها رصدها برج المراقبة عند ب فإذا علم أن إحداثيات موقع البطارية هي ١٠٠ غرباً ، ٥٦٠٠ جنوباً وإحداثيات ب هي ٧٠٠٠ غرباً ، ٤٤٠٠ شمالاً وأن زاويتي ارتفاع وانحراف الطائرة من موقع البطارية حين أصابها كانت ٥٣٤ ، ٥٣٢٤ على الترتيب وزاوية انحراف الطائرة من برج المراقبة هي ١٧ ' ٥٩٨ بين :

أولاً — كيف تحدد موقع سقوط الطائرة على الأرض بتعيين إحداثيات هذا الموقع مستعملًا ثلاث طرق مختلفة ؟

ثانياً — حساب ارتفاع الطائرة لحظة اصابتها .

٢ — مضلع أ ب ح د أخذت رؤوسه أ ، ب ، ح ، د في ترتيب دائري واحد مع عقرب الساعة . وقد شكل هذا المضلع لإيجاد طول وانحراف أ د الذي تعترضه عقبة ، فإذا كانت أطوال أ ب ، ب ح ، ح د هي ١٠٠ ، ٢٥٠ ، ١٢٠ متراً على الترتيب والزاوية الخارجية عند ب هي ٤٤ ' ٥٢٦٨ والزاوية الداخلية عند ح هي ١٨ ' ٥٩٧ . عين طول وانحراف أ د ، إذا كان انحراف ح ب هو ٥٢٧٧ . وإذا أريد شق طريق محوره س ص حيث س ، ص منتصفا أ ب ، ح د فبين على أي بعد من نقطة ح يقطع هذا الطريق الحد ح ب .

٣ — أ ب ح د مضلع فيه ه تقع على ب ح ، وإحداثيات ب هي ٢٠٣ شرقاً ، ٦٥٢ شمالاً ، وإحداثيات ح هي ٨٧١ شرقاً ، ٧١٠ شمالاً ، وإحداثيات د هي ٧٥٦ شرقاً ، ٤٧٥ شمالاً وإحداثيات أ صفر شرقاً ، ١٠٠٠ شمالاً . فإذا كانت و نقطة على أ د على بعد ٥٠٠ متر من أ وكانت ه مسقط العمود من و على ب ح فاحسب طول ب ه وانحراف ه و .



٤ — قارب سباق رصد من نقطة س على الشاطئ إحداثياتها ١٥٤ جنوباً ، ٩٢٦٤ شرقاً ، فكان الانحراف ١٧ ' ٥٤٨ وفي نفس الوقت رصد القارب من ص التي إحداثياتها ٧٦٨ جنوباً ، ١١٤١٦ شرقاً فكان الانحراف ٤٠ ' ١٨٠ أحسب إحداثيات موقع القارب بطريقتين مختلفتين . وبعد ثلاث دقائق مر القارب بشمندورة إحداثياتها ٢٠ شمالاً ، ١١٧٦٤ شرقاً فما سرعة القارب وما هي انحرافات مكان الشمندورة من نقطتي الرصد س ، ص .

٥ — ا ب ح د ا ترافرس مقفل أرصاده هي :

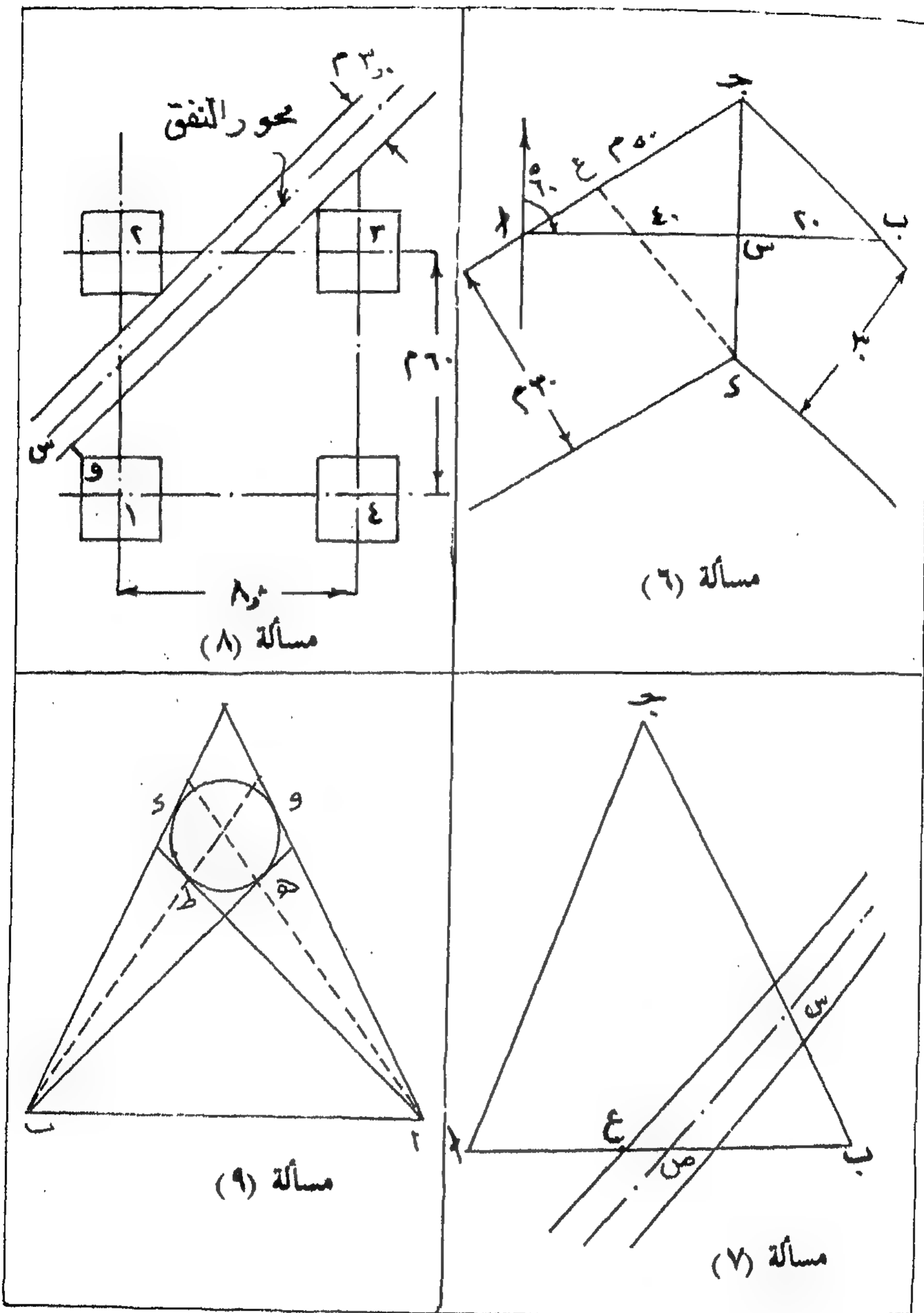
الضلع	الطول (متر)	الانحراف
ا ب	٤٠١	١٧١ ' ٥
ب ح	١٤٩	٢
ح د	٣٥٢	٣٠١ ' ٥
د ا	٢٠٢	٢

عين انحراف ب ح ، د ا مستعملاً طريقة الترافرس موضعاً كافة الحلول .

٦ — يبين الشكل زاوية طريق عرضه ٣٠ متر ، ح ، د ، ركن الزاوية المتقابلين . يقترح تعديل الزاوية بإقتطاع جزء منها بالخط ب س ا حيث يقطع أحد جانبي الطريق في ا ، ب ويقطع الخط الواصل بين الركنين في س بحيث أن ا ح = ٥٠ متراً ، ا س = ٤٠ متراً . فإذا كان انحراف ا ب = ٥٦٠ ' وانحراف ح د = ١٨٠ ' فما انحراف ا ح ، ح ب وطول الخط ح د أوجد أيضاً إحداثيات نقطة ا إذا كانت إحداثيات د هي ١٠٠ غرباً ، ٧٨ جنوباً .

٧ — قطعة أرض ا ب ح شق طريق محوره س ص كما في الشكل وبعرض جنزير واحد . وقد كان انحراف س ص ٥٧ ' ٢١٤ وانحراف ا ب = ٨٧ ' وانحراف ح ب = ١٧٠ ' . فإذا كان ب ح =  $\frac{1}{2}$  ا ب ا ، ا ع = ٣٤ جنزير







فما هو طول  $AB$  بالأمتار والسنتيمترات إذا كانت المساحة بدون الطريق هي ٨٠ فدان .

٨ — المسقط الأفقى المرفق يبين أساسات مبنى مكونة من أربعة أعمدة ، ويراد إنشاء نفق بعرض ٢ متر يمر بأسفل الأساسات بحيث يمس جانبا ركنى العمودين رقم ( ٢ ، ٣ ) فى  $A$  ،  $B$  والمطلوب :

أولاً — حساب انحراف محور النفق .

ثانياً — حساب المسافة العمودية و  $S$  .

إذا علم أن المسقط الأفقى للأساسات عبارة عن مربعات  $1,00 \times 1,00$  متر والأربعة أعمدة تكون مستطيلاً محاورها على أبعاد ٨ متراً ، ٦ متراً وانحراف المحور الواصل بين العمودين رقمى ١ ، ٢ = صفر .

٩ — مبنى دائرى يقع فى وسط ميناء كما هو مبين بالشكل أخذت له الأرصاد التالية من نقطتى  $A$  ،  $B$  التى أحداثياتها المحلية فى المنطقة كما يلى :

$A$	٣٦٠٨,١ شرقاً	٩١٥,١ شمالاً
$B$	٩٥٧,٦ شرقاً	١٨٠٨,٨ شمالاً

قيست الزوايا عند  $A$  لنقط مماسة للجدران فكانت كما يلى :

$BAP = 25^\circ 02'$  ،  $BAO = 35^\circ 26'$  . ثم قيست الزوايا عند  $B$  لنقط مماسة للجدران فكانت  $ABD = 29^\circ 04'$  ،  $ABH = 31^\circ 39'$  . أوجد أحداثيات مركز المبنى وكذلك نصف قطر المبنى الدائرى .

[ الجواب : ٢٢١٦,٣ ، ٢٣٠١,٢ ونصف القطر ١١,٤٠ ]

١٠ —  $AB$  ح  $D$  قطعة أرض مستطيلة الشكل النسبة بين طولى ضلعها  $AB : B = 3 : 2$  . شق الطريقان  $AH$  ،  $AO$  ليقابلا ح  $B$  ، ح  $D$  أو







امتدادهما في ه ، و بالأطوال و الانحرافات المبينة . أوجد أبعاد قطعة الأرض .

[ الجواب : أ ، ب = ١٥٦,٨٥ ، ح ب = ١١٤,٥٠ . ]

١١ — طريق بعرض ١٠ أمتار كما في الشكل والمعلومات المبينة . أحسب

انحرافات وأطوال جوانب الطريق ح ب ، ه و ، انحراف ا س : ( الجواب :

ب ح ٢٤ ' ٥٤١ ، ٣٢,٧٦ ، ه و : ٢٤ ' ٥٤١ ، ٣٥,١٦ ، ا س :

٣٤ ' ٥٢٤٦ . )

١٢ — أ ب ح د قطعة أرض مساحتها ١٠٠ فدان . ب ا = ٣٥,٠ عقلة

وانحرافه ١٧ ' ٥١٠ ، ا ب = ٢٠٠٠ عقلة وانحرافه ٤٢ ' ٥١١٩ ،

ب ح : ١٧ ' ٥٦٥ . ح د : ٣٣ ' ٥١٦٩ ، د ه : ٠٠ ' ٥٩٠ . أوجد

أطوال الأضلاع ب ح ، ح د ، ه د .

١٣ — من المعلومات المبينة أحسب طول وانحراف د ا ، وكذلك مساحة

القطعة ا ب ح د . ( الجواب : ٢٤ ' ٥٦٤ ، ٤٥,١٣ . )

١٤ — ركن طريق اقتطع جزء منه بالخط ا ب الذي إنحرافه ٥٧٠ . أوجد

البعد بين الركنين ا ، ب . ( ٣٠ " ٠٤ ' ٥١٧٣ ، ٦١,٩٠ م ) .

١٥ — لإيجاد عرض بحيرة ب ه أجرى ترافرس ا ب ح د ه و ، وقد

وجد أخيراً أن ا ، ب ، ه ، و على إستقامة واحدة فإذا كان إنحراف ا ، ب =

١٤ ' ٥٧ وطوله ٧٨ متراً ، وإنحراف ب ح = ٥٧٢ ، وطوله ١٠٦ متراً

وطول ح د = ٤٤ متراً وإنحرافه ١٩٩ أماء ه فلم يمكن قياسه وإنما معلوم أنه

يتجه إلى الجنوب تماماً ، ه و طوله ٤٠ متر ، أوجد طول د ه ، وعرض

البحيرة .



## الباب السادس

### الترافرس الموصل

### Connecting Traverse

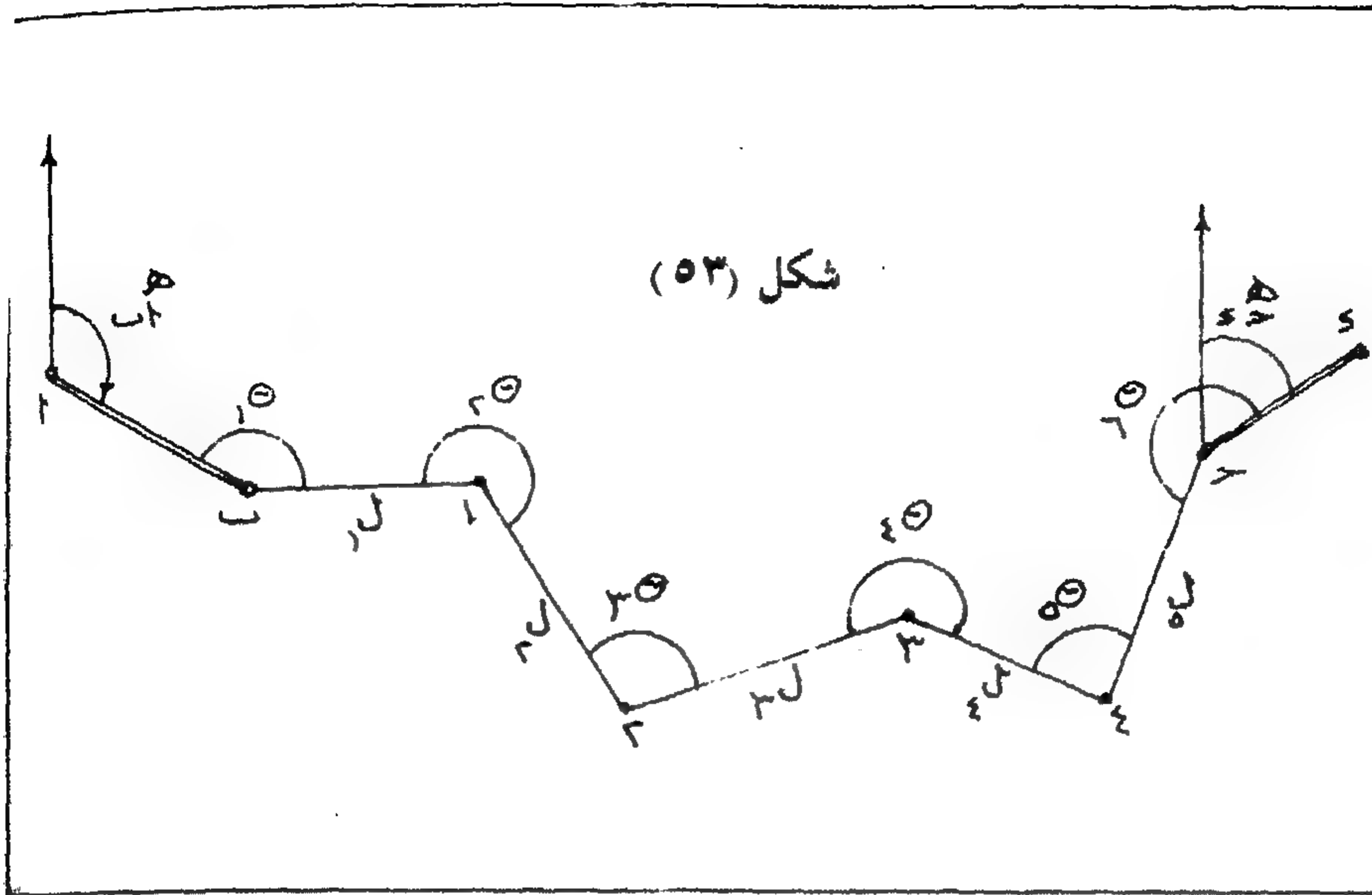
مقدمة :

يتم استخدام الترافرس الموصل لرفع المناطق التي يوجد بها نقط ترافرسات قديمة معلومة الأحداثيات عددها على الأقل اثنين يمكن اجراء الرصد المتبادل بينها حيث يتم تشكيل الترافرس الموصل من عدة خطوط متلاصقة يبدأ أولها من إحدى هذه النقط المعلومة وينتهى آخرها بنقطة ثانية معلومة ، كما أن خط البداية يربط عند النقطة الأولى على اتجاه معلوم هو الاتجاه الواصل بين نقطة البداية ونقطة معلومة ، وخط النهاية يربط عند النقطة الثانية على اتجاه معلوم أيضاً ، هو الاتجاه الواصل بين نقطة النهاية ونقطة معلومة .

ففى شكل ( ٥٣ ) ب — ١ — ٢ — ٣ — ٤ — ح ترافرس موصل يبدأ من نقطة ب المعلوم إحداثياتها وينتهى عند نقطة ح المعلوم الأحداثيات ، وخطوط الربط له هي أ ب عند البداية ، ح د عند النهاية حيث انحرافاتهما تحسب من واقع أحداثيات النقط أ ، ب للأول ثم ح ، د للثاني .

ويتلخص عمل الغيظ بالنسبة للترافرس الموصل فى قياس جميع الزوايا الأفقية بالتودوليت والمحصورة بين خط الربط الأول والضلع الأول (  $\theta_1$  ) والزوايا المحصورة بين الخطوط وبعضها (  $\theta_2$  ،  $\theta_3$  ، ... ) ، والزوايا المحصورة بين الضلع الأخير وخط الربط الأخير (  $\theta_n$  ) بالشكل . كما يتم قياس أطوال أضلاع الترافرس  $L_1$  ،  $L_2$  ، ...  $L_n$  وذلك بدقة باستخدام الشريط أو بأحد أجهزة القياس الألكترونى للمسافات أو إحدى أجهزة القياس التاكيومترى الدقيقة كما سوف نبين ذلك لاحقاً .





ومن شكل (٥٣) يلاحظ أنه إذا ما كان عدد أضلاع الترافرس الموصل هو (٥) فإن الزوايا المقاسة فيه يكون عددها (٥ + ١) كما أن عدد النقط الجديدة المطلوب تعيينها فيه هو (٥ - ١) ، وعلى ذلك فإن أقل عدد الأضلاع لترافرس موصل هو اثنين لتعيين نقطة واحدة جديدة .

أما العمل المكتبي للترافرس الموصل فالغرض منه الحصول على مقادير أخطاء القفل سواء الزاوية أو الضلعية لتصحيح الأرصاد ثم الحصول على الأحداثيات الصحيحة لجميع نقط الترافرس .

والخطوات التالية هي الخطوات النموذجية لأجراء الحسابات .

### ١ - الكروكي :

يجرى كما في الترافرس المقفل ويوضح عليه أطوال الخطوط والزوايا والملاحظات ، والكروكي يساعد كثيراً في الحل شكل (٥٣) .



## ٢ - تصحيح خطأ القفل الزاوى :

ونسماه أيضاً خطأ الربط فالمفروض أننا إذا ابتدأنا وحسبنا انحراف أول  
نقط في المضلع الموصل (ب - ١) بمعلومية الضلع الثابت ا ب والزاوية  
المقاسة  $\theta$ ، ثم انحراف ( ١ - ٢ ) ، ( ٢ - ٣ ) ، ( ٣ - ٤ ) ، ( ٤ - ح ) ،  
ثم ربطنا على ح و المعلوم انحرافه وذلك بمعلومية الزوايا ، فإنه من الواجب أن  
يكون انحراف ح و المحسوب يساوى انحرافه المعلوم . أما إذا كان هناك فرق  
فإنه يكون هو خطأ القفل الزاوى (  $\Delta$  ) لهذا الترافرس .

وعلى ذلك يمكن حساب خطأ القفل الزاوى (  $\Delta$  ) من المعادلة التالية :

$$[ ( ١ + \varpi ) ١٨٠ + {}_{II}\alpha - {}_I\alpha ] - \theta \sum_{1}^{1 + \varpi} = \Delta$$

(٥٣) .....

حيث  $\theta \sum_{1}^{1 + \varpi}$  = مجموع الزوايا المقاسة بين أضلاع الترافرس والمأخوذة

دائماً ضد عقرب الساعة من الضلع السابق إلى اللاحق ابتداء من خط الربط  
الأول شكل (٥٣) .

${}_I\alpha$  = انحراف خط الربط الأول ا ب .

${}_{II}\alpha$  = انحراف خط الربط الأخير ح و .

$\varpi$  = عدد أضلاع الترافرس الموصل .

أما إذا كانت الزوايا المقاسة مأخوذة دائماً مع عقرب الساعة فإن خطأ  
القفل يكون مساوياً .



$$[(1 + \vartheta) \cdot 180 + \alpha_1 - \alpha_2] - \theta \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i = \Delta$$

(٥٤) .....

والخطأ الزاوى المسموح به فى الترافرسات الموصلة يمكن حسابه من المعادلة :

(٥٥) .....

الخطأ المسموح به = ٢ و " و ٧

حيث و = دقة القراءة للدائرة الأفقية للتيودوليت المستعمل .

٢ = عدد الزوايا الكلية المقاسة فى الترافرس = ١ + ٥

فإذا كان خطأ القفل أكبر من المسموح به فيجب إعادة الأرصاد ، أما إذا كان الخطأ مسموحاً به فإنه يوزع بالتساوى على جميع الزوايا المقاسة . ثم يحسب بعد ذلك الانحراف المصحح لكل ضلع .

ويمكن حساب خطأ القفل الزاوى بحساب انحرافات الأضلاع ابتداء من خط الربط الأول وحتى خط الربط الأخير . ونقارن انحرافه المعلوم مع الانحراف المحسوب له ، والفرق فى هذه الحالة هو خطأ القفل الذى يمكن توزيعه مباشرة على انحرافات الخطوط المحسوبة وبأشارة مخالفة كالتالى :—

$$\frac{\Delta_1}{1 + \vartheta} = \text{تصحيح انحراف الخط الأول فى } 1$$

$$\frac{\Delta_2}{1 + \vartheta} = \text{تصحيح انحراف الخط الثانى فى } 2$$

.....



$$\frac{\Delta (1 + \vartheta)}{1 + \vartheta} = 1 + \vartheta$$

$$\Delta =$$

### ٣ - حساب المركبات الأفقية والرأسية :

نحسب المركبات الأفقية والرأسية لجميع الأضلاع كما في المضلع المقفل تماماً .

### ٤ - خطأ القفل الضلعي وتصحيحه :

الترافرس الموصل يبتدىء من نقطة معلوم إحداثياتها وينتهى بنقطة معلوم إحداثياتها كما سبق ذكره ، فإذا ابتدأنا حساب الإحداثيات من النقطة الأولى فإننا نحصل على إحداثيات النقطة النهائية بالحساب والتي قد تختلف عن إحداثياتها المعلومة ، وهذا ناتج عن تراكم الأخطاء في الرصد ومن الأجهزة نفسها .

وعلى ذلك تحسب إحداثيات النقط ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ح بمعلومية النقطة المعلومة ( ب ) ونحسب الفرق بين إحداثيات ( ح ) المعلومة والمحسوبة فتكون هي مركبات خطأ القفل الضلعي  $\Delta$  س ،  $\Delta$  ص . وهذا يمكن الحصول عليه من المعادلات التالية :

..... (٥٦)

$$\Delta \text{ س} = \text{س} + \frac{\vartheta}{1} \text{ س} - \text{س}$$

$$\Delta \text{ ص} = \text{ص} + \frac{\vartheta}{1} \text{ ص} - \text{ص}$$

حيث :



س<sub>ر</sub> ، ص<sub>ر</sub> = أحداثيات نقطة البداية .

س<sub>د</sub> ، ص<sub>د</sub> = أحداثيات نقطة النهاية .

$\sum_{i=1}^n$  س = مجموع المركبات الأفقية للأضلاع .

$\sum_{i=1}^n$  ص = مجموع المركبات الرأسية للأضلاع .

وعلى هذا فإن خطأ القفل الضلعي يكون مساوياً .

$$\Delta L = \sqrt{(\Delta S)^2 + (\Delta V)^2}$$

والخطأ النسبي =  $\frac{\text{مقدار خطأ القفل}}{\text{مجموع أطوال الأضلاع}}$

ويكون خطأ القفل الضلعي مسموحاً به إذا ما كان :

في المدن :  $\frac{L}{2000}$  من طول المضلع

في الأرياف :  $25 \text{ سم} + 0.31 L + 1.13 \sqrt{L}$  ... (٥٧)

حيث L طول المضلع بالمتر والمسموح به بالسنتيمتر .

وإذا كان الخطأ مسموحاً به فتوزع مركباته على مركبات الأضلاع بنسبة طول كل ضلع إلى المجموع الكلي للأضلاع وبأشارة مخالفة ( طريقة بودتش ) أما إذا كان قياس الزوايا الأفقية في الترافرس قد تم بدقة عالية فإن تصحيح خطأ القفل الضلعي يتم باستخدام طريقة المركبات .

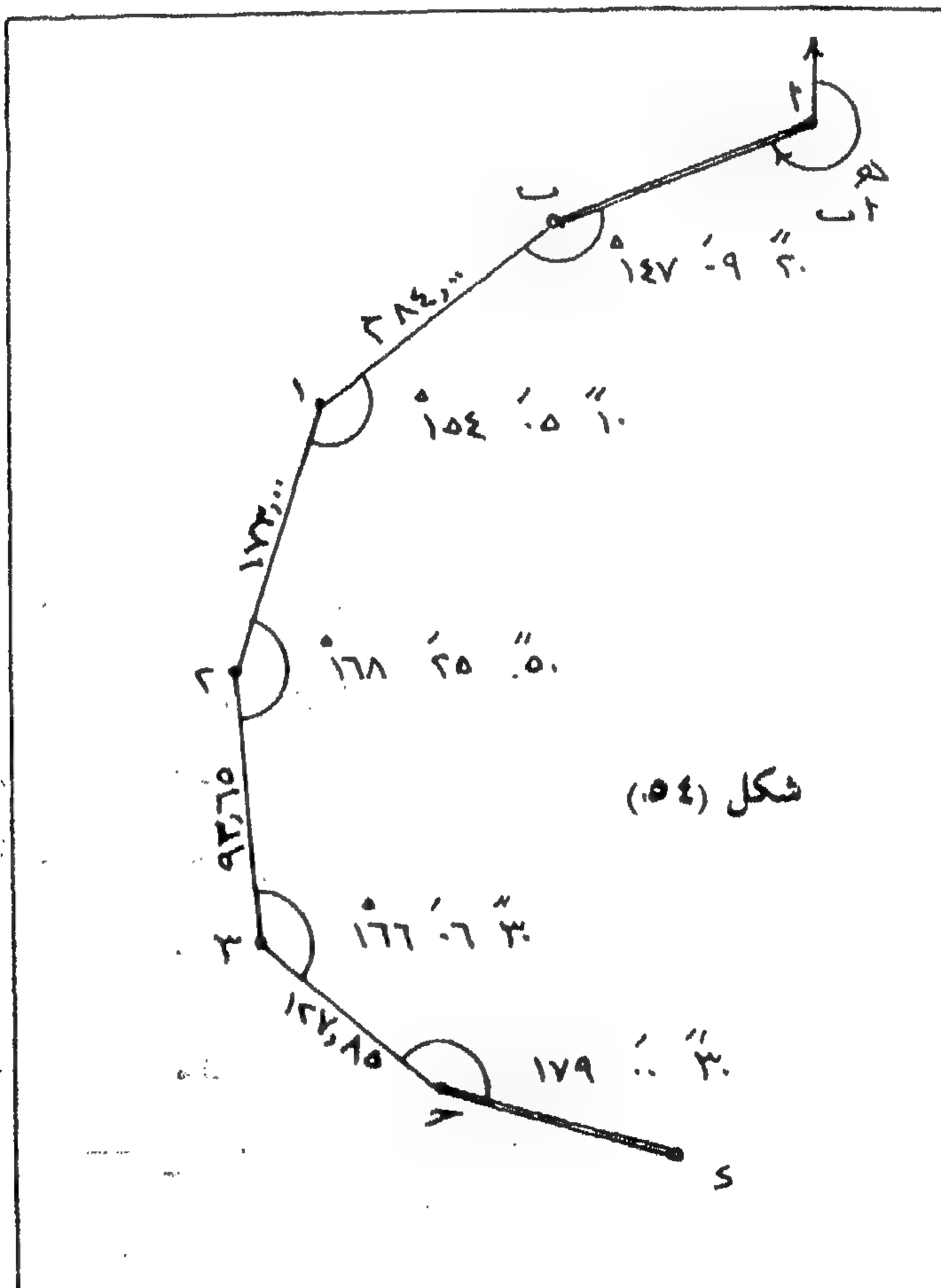


## ٥ - توقيع المضلع :

يوقع المضلع الموصل أما بالأحداثيات الكلية للنقط أو بمركبات الأضلاع كما هو متبع في المضلعات المقفلة .

مثال :

شكل (٥٤) يبين كروكي لترافرس موصل ب - ١ - ٢ - ٣ - ح  
يربط على النقط الثابتة ب ، ح وخطي الربط ا ب ، ح د ، فإذا كانت  
أحداثيات نقط الربط ب ، ح هي :





$$\text{سـ} = ١٠٧٤,١٨٢ + \text{صـ} = ١١٢٥,٠٥٣ \text{ متر}$$

$$\text{سـ} = ١٠٤٤,٨٤٦ + \text{صـ} = ٦٦٨,٨٩٥ \text{ متر}$$

وإنحرافات خطوط الربط هي :

$$\text{هـ} \text{ اـ} = ١١'' \text{ } ٠.٤' \text{ } ٥٢٤٧$$

$$\text{هـ} \text{ بـ} = ٠.٧'' \text{ } ٥١' \text{ } ٥١٦١$$

فعين الأحداثيات المصححة للنقط .

**الحل :**

**١ - خطأ القفل الزاوى وتصحيحه :**

يلاحظ من الكروكى أن الزوايا مقاسة من الضلع السابق إلى اللاحق في اتجاه عقرب الساعة ، وبتطبيق المعادلة (٥٤) لتعيين مقدار خطأ القفل الزاوى نجد أن :

$$\begin{aligned} \Delta'' &= (٢٠'' \text{ } ٠.٩' \text{ } ٥١٤٧ + ١٠'' \text{ } ٠.٥' \text{ } ٥١٥٤ + ٥٠'' \text{ } ٢٥' \text{ } ٥١٦٨ \\ &+ ٣٠'' \text{ } ٠.٦' \text{ } ٥١٦٦ + ٣٠'' \text{ } ٠.٠' \text{ } ٥١٧٩) - [٥١'' \text{ } ٠.٧' \text{ } ٥١٦١ \\ &- ١١'' \text{ } ٠.٤' \text{ } ٢٤٧ + (٥١٨٠ \times ٥)] = ٢٤'' \end{aligned}$$

وواضح من قيم الزوايا المرصودة والموضحة بالكروكى ان القياس الزاوى تم بجهاز تيودوليت دقته ١٠'' وعلى ذلك يكون المسموح به كخطأ قفل زاوى فى هذا الترافرس الموضى مساوياً :

$$\text{المسموح به} = ٢ \times ١٠'' \sqrt{٥} = ٤٤,٧٢''$$

وعلى ذلك يكون خطأ القفل الزاوى وقدره + ٢٤'' مسموحاً به .  
وبذلك يتم تصحيح مقدار كل زاوية مقاسة بالمقدار ت حيث :

$$ت = \frac{٢٤}{٥} = ٤,٨''$$



وعلى ذلك تكون مقادير الانحرافات المصححة للخطوط هي :-

$$\text{انحراف ب} - 1 = 11' 47.0'' - 0180 + (20' 47.0'' - 0147.8'') = 26.2' 13' 21.4'' =$$

$$\text{انحراف ا} - 2 = 26.2' 13' 21.4'' - 0180 + (10' 54.0'' - 0154.8'') = 31.4' 18' 18.8'' =$$

$$\text{انحراف ج} - 3 = 31.4' 18' 18.8'' - 0180 + (50' 25.0'' - 0168.8'') = 16.6' 44' 17.6'' =$$

$$\text{انحراف د} - 4 = 16.6' 44' 17.6'' + 0176 + (30' 6.6'' - 0166.8'') = 36.0' 50' 16.2'' =$$

$$\text{انحراف خط الربط الأخير ح} - 5 = 36.0' 50' 16.2'' + 0180 + (30' 9.0'' - 0179.8'') = 0.7' 51' 16.2'' = \text{(تحقيق)}$$

#### ب - خطأ القفل الضلعى وتصحيحه :

لحساب مركبات خطأ القفل الضلعى يتم حساب مركبات أضلاع الترافرس الموصل بمعلومية أطوال هذه الأضلاع وانحرافات المصححة . وفى جدول (٨) تم حساب الانحراف المختصر لكل ضلع ثم حسبت المركبات الأفقية والرأسية للأضلاع ومن ثم تم حساب مجموع مركبات الأضلاع وبالتعويض فى المعادلات (٥٦) تم الحصول على مركبات خطأ القفل الضلعى ثم حسب الخطأ النسبى فكان ١ : ٢٤٨٦ وهو مسموح به ، ثم حسبت التصحيحات فى مركبات الأضلاع باستخدام طريقة المركبات وأضيفت هذه التصحيحات جبرياً إلى مركبات الأضلاع فتم الحصول على قيم المركبات المصححة . ولقد تم حساب الأحداثيات المصححة للنقط الجديدة فى جدول (٩) ويلاحظ أنه قد تم حساب أحداثيات نقطة ح كتحقيق للعمل .



جدول (رقم ٨) تصحيح الترافرس الموصل

مركبة رأسية	مركبة أفقية	مركبة الرأسية	التصحيح في المركبة الأفقية	مركبة رأسية	مركبة أفقية	الأنحراف المختصر	الأنحراف المصحح الدائري	طوله (متر)	الضلع
٦٩,٤٣٤-	٤٧,٢٩٨-	٠,٠٢١+	٠,٠٥٤-	٦٩,٤٥٥-	٤٧,٢٤٤-	حـ ٥٠٣٤	٥٢١٤	٨٤,٠٠	ب ١-
١٧١,١٣١-	٢٥,٠٢٨-	٠,٠٥٣+	٠,٠٢٨-	١٧١,١٨٤-	٢٥,٠٠٠-	حـ ٠٨	١٨٨	١٧٣,٠٠	٢-١
٩٣,٤٦٩-	٥,٣٢٣+	٠,٠٢٩+	٠,٠٠٦-	٩٣,٤٩٨-	٥,٣٢٩+	قـ ٠٣	١٧٦	٩٣,٦٥	٣-٢
١٢٢,١٢٤-	٣٧,٦٦٧+	٠,٠٣٨+	٠,٠٤٣-	١٢٢,١٦٢-	٣٧,٧١٠+	قـ ١٧	١٦٢	١٢٧,٨٥	حـ ٣-
		٠,١٤١+	٠,١٣١-	٤٥٦,٢٩٩-	٢٩,٢٠٥-			٤٧٨,٥٠	Σ
				٤٥٦,٢٩٩	١١٥,٢٨٣	الجموع العددى			

$$\Delta \text{ س} = ١٠٧٤,١٨٢ - ٢٩,٢٠٥ - ١٠٤٤,٨٤٦ = ٠,١٣١ \text{ متر}$$

$$\Delta \text{ ص} = ١١٢٥,٠٥٣ - ٤٥٦,٢٩٩ - ٦٦٨,٨٩٥ = ٠,١٤١ \text{ متر}$$

$$\Delta \text{ ل} = \sqrt{(٠,١٣١)^2 + (-٠,١٤١)^2} = ٠,١٩٢ \text{ متر}$$

$$\frac{\Delta \text{ ل}}{\Delta \text{ ص}} = \frac{٠,١٩٢}{١١٢٥,٠٥٣} = \frac{١}{٥٨٥٠}$$

$$\text{التصحيح في المركبة الأفقية للضلع} = ١ - \frac{٤٧,٢٤٤}{١١٥,٢٨٣} \times ٠,١٣١ = ٠,٠٥٤ \text{ متر}$$

$$\text{التصحيح في المركبة الرأسية للضلع} = ١ - \frac{٦٩,٤٥٥}{٤٥٦,٢٩٩} \times ٠,١٤١ = ٠,٠٢١ \text{ متر}$$



جدول ( ٩ ) الأحداثيات المصححة

ص	س	
١١٢٥,٠٥٣ + ٦٩,٤٣٤ -	١٠٧٤,١٨٢ + ٤٧,٢٩٨ -	نقطة ( ب ) مركبات ب — ١
١٠٥٥,٦١٩ + ١٧١,١٣١ -	١٠٢٦,٨٨٤ + ٢٥,٠٢٨ -	نقطة ١ مركبات ١ — ٢
٨٨٤,٤٨٨ + ٩٣,٤٦٩ -	١٠٠١,٨٥٦ + ٥,٣٢٣ +	نقطة ٢ مركبات ٢ — ٣
٧٩١,٠١٩ + ١٢٢,١٢٤ -	١٠٠٧,١٧٩ - ٣٧,٦٦٧ +	نقطة ٣ مركبات ٣ — >
٦٦٨,٨٩٥ +	١٠٤٤,٨٤٦ +	نقطة >

تحقيق



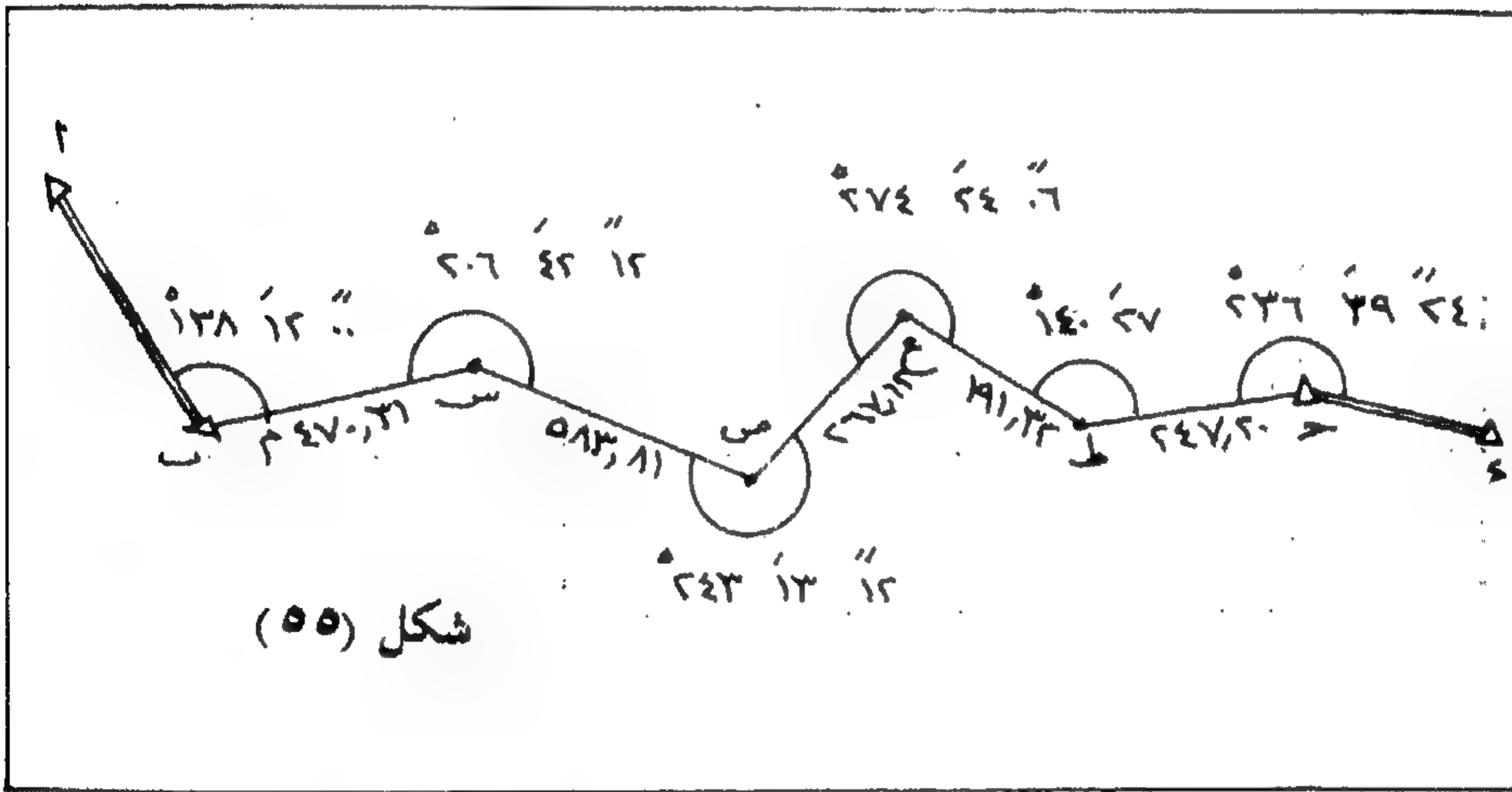
## تمارين

١ - المطلوب حساب الأحداثيات المصححة لنقط المضلع الموصل  
ب س ص ع ط ح الموضح بالشكل (٥٥) إذا كانت أحداثيات نقطتي الربط  
ب ، ح هي :

$$\text{س} = ٤٢٨٤,١٨ \quad \text{ص} = ٩٣٤٢,٢١$$

$$\text{س} = ٥٦٠٦,٢١ \quad \text{ص} = ٨٤٧٧,١٢$$

والانحراف الدائري لخط الربط الأول ا ب هو  $٠.٦''$   $٢٩'$   $٥١٥٢$   
والانحراف الدائري لخط الربط الأخير ح د هو  $٠.٦''$   $٢٤'$   $٥١٨٥$



٢ - ترافرس موصل ١ - ٢ - ٣ - ٤ - ٥ - ٦ - ٧ - ٨ -  
٩ - ١٠ - ١١ - ١٢ - ١٣ كانت أحداثيات نقطتي الربط ١ ، ١٣ هي :

$$١ (٢٩٠٧١, ١٥٣, ٨٤٤٥, ٦٨٠), ١٣ (٢٥٦٦٨, ٩٤٤, ٧٧٤٨, ٣٢٨)$$

وكان الترافرس يربط على خطي الربط ١ - ١٣ ، ب أنحرافاتها هي



٢٥,٤ " ٤٣ ' ٥١٦ ، ٤٦,٧ " ٥٥ ' ١٧٨ ° على الترتيب . فإذا كانت الزوايا الأفقية المقاسة في اتجاه عقرب الساعة بين الأضلاع وبعضها ( بما في ذلك خطوط الربط ) هي كما هو مبين بالجدول . عين الانحرافات المصححة لأضلاع هذا المضلع .

النقطة	الزاوية المقاسة	النقطة	الزاوية المقاسة
١	٣٧ " ١٩ ' ٥٤٦	٨	٢٦ " ٠٤ ' ١٨٢
٢	٣٧ ١٤ ١٨٢ °	٩	١٦ ٣٥ ١٤١ °
٣	١٩ ٤١ ١٨٠ °	١٠	٥٢ ٢٩ ١٧٦ °
٤	٢٤ ١٦ ١٧٢ °	١١	٠٤ ٤٧ ١٨٢ °
٥	٥١ ٤٨ ١٣٣ °	١٢	٠٧ ٣٦ ١٧٥ °
٦	٠٤ ٢٢ ١٨٠ °	١٣	٣٧ ١٤ ٢١٧ °
٧	١٩ ٤٢ ١٧٠ °		

٣ — أ ، ب نقطتا ترافرس قديم سبق إيجاد احداثياتها وهي :

أ ( ٨٤٣٢,٥٠ + ، ٦٩٨١,٢٣ + )

ب ( ٩٣٥٧,٥٦ + ، ٤١٤٥,٥٣ + )

وربط الترافرس أ — ١ — ٢ — ٣ — ٤ — ب عليهما وكانت الأطوال والانحرافات المرصودة هي :



الخط	الأنحراف	الطول ( بالتر )
١ — ١	٢٠ " ٥٤ ' ١٥١ °	٥٦٤,٣١
٢ — ١	٢٥ ٣٠ ١٥٨ °	٣٩٤,٨٢
٣ — ٢	١٠ ٠٢ ١٦١ °	٩٥٣,٦٥
٤ — ٣	٠٠ ١٥ ١٦٨ °	٥٤٠,٠٣
٤ — ب	٥٠ ٠٣ ١٧٠ °	٥٤٨,٩٠

عين قيمة كل من الخطأ الزاوى وخطأ القفل الضلعى وبين إذا كانت الأخطاء مسموح بها أم لا . إذا كان الترافرس . ( أولاً ) قد أجرى فى منطقة الكلية ( ثانياً ) قد أجرى فى منطقة كفر الدوار الزراعية . ثم احسب الأحداثيات المصححة لنقطه .

٤ — ا ب ح د هـ و ترافرس موصل . أحسب إحداثيات نقطه المختلفة إذا كانت :

النقطة	الزاوية	أحداثى رأسى	أحداثى أفقى	الخط	الطول
١		١٣٣٦,٣٥	١٠٥٠,٤٧		
ب	٢٣' ٥٨٦	١٠٠٠,٠٠	١٠٠٠,٠٠	ب ح	٣٤٧,١٥
ح	٥٥ ٢٢٣			ح د	٤٤٩,٨٢
د	٤٨ ١١٤			د هـ	١٤٤,٧٦
هـ	٣٦ ١٤١	٦٧٠,٢٣	١٧٨٠,٢٧		
و		٩٤٥,٩٧	١٩٧٥,٧٤		



## الباب السابع الترافرس المفتوح ( Open Traverse )

هذا النوع لا يمكن تصحيحه تماماً ، إذ أن التصحيح اللازم في الإحداثيات الأفقية والرأسية لخطوطها غير معلوم لأن خطأ القفل غير معلوم ، ولذلك يلزم الحصول على بعض المعلومات في الطبيعة لتساعد على تحقيق العمل . وعلى ذلك فهو يستخدم في أعمال رفع المناطق التي لا تحتاج إلى دقة عالية في الرفع .

وفي الواقع أن هذا النوع من الترافرسات لا يعتمد عليه ونضبطه بتحويله ، إذا أمكن ، إلى ترافرس مقفل أو موصل بالربط على نقط معلومة ، وإلا فيجب قياس كل ضلع وكل زاوية مرتين على الأقل . وفي مصلحة المساحة يتحتم أن يجرى الأرصاد شخصان مختلفان ثم تجرى الحسابات لكل مجموعة من الأرصاد على حدة ، فنأى بإحداثيات النقط ثم يؤخذ متوسط النتيجة لكل نقطة على شرط أن يكون الفرق في كل إحداثي كما حسب من المجموعة الأولى ، بمقارنته بحسابات المجموعة الثانية ، لا يتجاوز الفرق المسموح به والذي يحسب في هذه الحالة من المعادلات الآتية :

المسموح في خطأ القفل في الزوايا =  $\sqrt{2} \cdot \sqrt{v_0}''$   
بين مجموعتين

أو  $2 = \sqrt{2} \cdot \sqrt{v_0}''$

..... (٥٩)

حيث و = دقة التيودوليت المستعمل .

= عدد الزوايا المقاسة



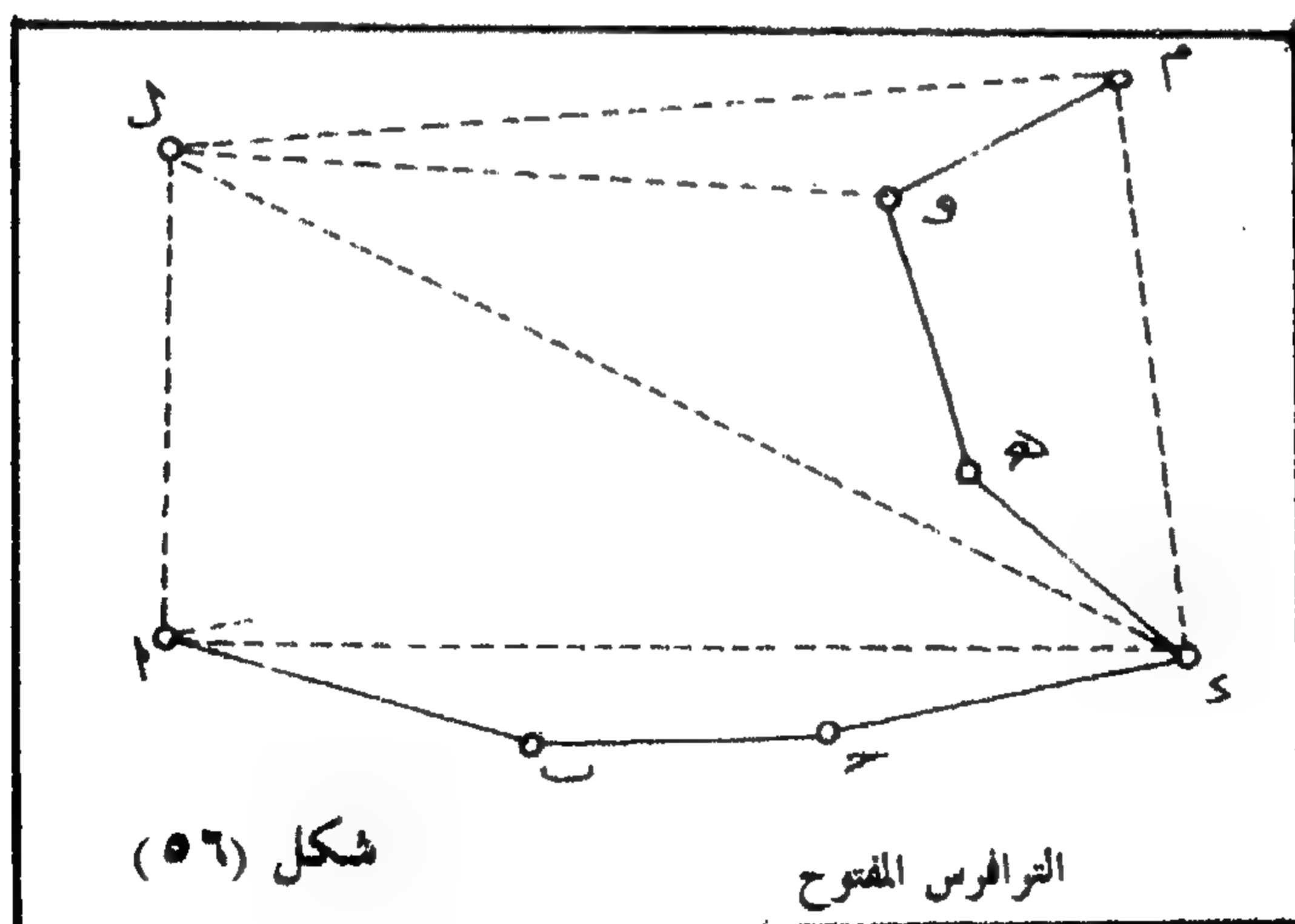
(٦٠) ....

المسموح في الفرق بين إحداثيات المجموعتين

$$\sqrt{2} \sqrt{1,13} + 1,062 + 25 =$$

التغلب على عيوب المضلع المفتوح :

في حالة المضلع المفتوح ا ح ب د ه و م شكل (٥٦) إذا تيسر رؤية بعض نقط من بعضها الآخر مثل د من ا ، م من د فإنه يمكن إعتبار كل من القسمين ا ب ح د ، د ه و م مضلع مقفل مستقل وتحقيقه كما سبق ، وإلا فإننا نبحث عن نقطة واضحة مثل ل خارج المضلع ونقيس انحرافات الخطوط الواصلة من بعض النقط إليها مثل ا ل ، و ل ، د ل ، م ل أو نقيس الزوايا ل ا ب ، ا ب د ، د ل ه ، ل و م ، يكون تحقيق العمل إما بالرسم وحينئذ يجب أن تتقابل الأشعة الثلاثة ا ل ، د ل ، م ل في نقطة واحدة ، أو يكون التحقيق بالحساب ، فتحسب إحداثيات النقطة ل عن طريق ا ل ، د ل ، و تحقق إحداثياتها المحسوبة من م ل . ويلاحظ أن الطريقة الثانية لا تصلح للتطبيق في الغيط لطول الأعمال الحسابية ، ولذلك يحسن في حالة المضلع المفتوح قياس كل زاوية مرتين وتقارن النتائج ببعض كما سبق ذكره .



شكل (٥٦)

الترافرس المفتوح



مثال :

قام راصدان بأخذ الأرصاد التالية جدول (١٠) لترافرس مفتوح ح د ،  
يربط على الخط أ ب الذى انحرافه ١٢ ' ١٦٢ ° .

جدول (١٠)

النقطة	الخط	الطول ( متر )		الزاوية لى إتجاه عقرب الساعة	
		الراصد الأول	الراصد الثانى	الراصد الأول	الراصد الثانى
ب		١٢٠. ١٢	١٢٠. ٤٤	٠ ١٣١ ٤٢ ٣٦	٠ ١٣١ ٤١ ٥٤
ح	ب ح	٧٨. ٤٨	٧٨. ٣٠	٦٤ ١١ ٠٠	٦٤ ١٠ ٤٨

عين أحداثيات النقط ح د ، فى هذا الترافرس علماً بأن أحداثيات نقطة  
البداية ب هى ١٠٠ غرباً ، ١٥٠ جنوباً .

الحل :

١ - يتم حساب انحرافات أضلاع الترافرس من واقع أرصاد الراصدين :

أنحراف ب ح للراصد الأول = ١٢ ' ١٦٢ ° + ١٨٠ ° + ٠ ١٣١ ٤٢ ٣٦

$$= ٠٣٦٠ - ٣٦ " ٥٤ ' ١١٣$$

أنحراف ب ح للراصد الثانى = ١٢ ' ١٦٢ ° + ١٨٠ ° + ٠ ١٣١ ٤١ ٥٤

$$= ٠٣٦٠ - ٥٤ " ٥٣ ' ١١٣$$

وبذلك يكون الفرق بين نتائج الراصدين لهذا الخط = ٤٢ "

$$\text{المسموح به} = \sqrt{٧٧٠} = \sqrt{٢ \times ١} = ٩٩ "$$

وبذا فإن الفرق يكون فى حدود المسموح به .



وبالمثل إنحراف ح د للراصد الأول = ٣٦ " ٠.٥ ٥٣٥٨

إنحراف ح د للراصد الثاني = ٤٢ ٠.٤ ٥٣٥٨

الفرق = ٥٤ " > ٧٧.٠ × ٢

> ١٤٠ " مسموح به

٢ - يتم حساب مركبات الأضلاع لكل من الراصدين كما هو مبين في الجدول (١١) التالي :

جدول رقم (١١)

الضلع	الراصد الأول				الراصد الثاني			
	الطول	الانحراف	مركبة أفقية	مركبة رأسية	الطول	الانحراف	مركبة أفقية	مركبة رأسية
ب ح	١٢٠,١٢	٠ ١١٣ ٥٤ ٣٦	١٠٩,٨١+	٤٨,٦٨-	١٢٠,٤٤	٠ ١١٣ ٥٣ ٥٤	١١٠,١١+	٤٨,٧٩-
د ح	٧٨,٤٨	٢٥٨ ٠٥ ٣٦	٢,٦٢-	٧٨,٤٤+	٧٨,٣٠	٣٥٨ ٠٤ ٤٢	٢,٥٣-	٧٨,٢٦+

٣ - يتم حساب مركبات خطأ القفل الضلعي لكل ضلع من واقع المركبات المحسوبة للأضلاع للراصدين ، وبحسب خطأ القفل لتعين أحداثيات كل نقطة ويقارن بالمسموح به .

الضلع ب ح

$$\Delta \text{ ب ح} = ١٠٩,٨١ - ١١٠,١١ = - ٠,٣٠ \text{ متر} = \Delta \text{ ب ح}$$

$$\Delta \text{ د ح} = ٤٨,٦٨ - (٤٨,٧٩ -) = + ٠,١١ \text{ متر} = \Delta \text{ د ح}$$

$$\Delta \text{ ل ح} = \sqrt{(٠,٣٠)^2 + (٠,١١)^2} = ٠,٣٢ \text{ متر}$$

المسموح به لتعين أحداثيات ( ح )

$$= ٢٥ + ١٢٠ \times ٠,٠٦٢ + ١٢٠ \times ٢ \sqrt{١,١٣} = ٤٩,٩٥ \text{ سنتيمتر}$$

∴ الخطأ مسموح به



الضلع ح د

$$\Delta \text{ س ح د} = 2,62 - (2,63 -) = +0,01 \text{ متر}$$

$$\Delta \text{ ص ح د} = 78,44 + (78,26 +) = +0,18 \text{ متر}$$

$$\therefore \Delta \text{ س} = 0,30 - +0,01 = -0,29 \text{ متر}$$

$$\Delta \text{ ص} = 0,11 + +0,18 = +0,29 \text{ متر}$$

$$\therefore \Delta \text{ ل} = \sqrt{(0,29)^2 + (0,29)^2} = 0,41 \text{ متر}$$

المسموح به لتعيين احداثيات ( د )

$$= 25 + 0,062 \times (78 + 120) + 1,13 \sqrt{2 \times (120)} \quad (\overline{78})$$

$$= 59,76 \text{ سنتيمتر}$$

$\therefore$  الخطأ مسموح به

٤ — إذا ما كانت الأخطاء مسموحاً بها يتم حساب أحداثيات النقاط الجديدة كمتوسط للأحداثيات المحسوبة من واقع أرصاد الراصدين كما هو مبين في الجدول (١٢) التالي :

جدول (١٢)

الخط	الراصد الأول		الراصد الثاني		المتوسط	
	س	ص	س	ص	س	ص
ب	100 -	150 -	100 -	150 -	100 -	150 -
ب ح	109,81 +	48,68 -	110,11 +	48,79 -		
ح	9,81 +	198,68 -	10,11 +	198,79 -	9,96 +	198,735 -
ح د	2,62 -	78,44 +	2,63 -	78,26 +		
د	7,19 +	120,24 -	7,48 +	120,53 -	7,335 +	120,385 -



## ملحوظة :

إذا ما تجاوزت الأخطاء في أى مرحلة حدود المسموح به تعاد الأرصاد الخاصة بهذه المرحلة للراصدين .

## تمارين

١ — قام راصدان برصد ترافرس مفتوح  $AB$  ح  $D$  يربط عند البدء على  $S$  واحداثيات  $A$  هي  $50$  شرقاً ،  $75$  جنوباً . وانحراف  $S$   $A = 0224$  .

الراصد الأول	الراصد الثانى	
$70,40$ متر	$70,70$ متر	$AB$
$128,15$ متر	$127,90$ متر	$BC$
$234,70$ متر	$234,20$ متر	$CD$
$0127'16$	$0127'14$	الزاوية $SAB$
$0134'21$	$0134'40$	الزاوية $ABC$
$0178'20$	$0178'47$	الزاوية $BCD$

إحسب أحداثيات  $D$  الصحيحة مع التجاوز عن الأخطاء إذا كانت غير مسموح بها . بين إذا كانت مسموح بها أم لا .

٢ — ترافرس مفتوح  $BCD$  ح  $D$  يربط على  $AB$  قيست أطوال الأضلاع والزوايا المحصورة بينها بواسطة راصدين فكانت على النحو التالى :

الراصد الأول	الراصد الثانى	
$200,00$ متر	$200,60$ متر	طول الضلع $BC$
$117,50$ متر	$116,7$ متر	طول الضلع $CD$
$0120'18$	$0119'47$	الزاوية $ABC$

(ضد عقرب الساعة)



الزاوية ب ح د  
(ضد عقرب الساعة)  
٠١٤٣ '٢٢      ٠١٤٢ '٥٦

فإذا كان انحراف ب ا = ٥٣١٠ وكان الترافرس قد شكل في إحدى قرى  
الوجه البحرى فإوجد عند أى خطوة فى الحسابات يجب إعادة الأرصاد لهذا  
الترافرس .

وبفرض أن الأخطاء مسموحاً بها عين أحداثيات النقط الجديدة ح د ، إذا  
كانت أحداثيات ب ( ١٤٠ جنوباً ، ٦٠٠ غرباً ) .







## الباب الثامن

### شبكات الترافرسات

## شبكات الترافرمات

عند رفع المناطق المتسعة فإن تشكيل حلقة مقفلة واحدة أو حلقة موصلة مفردة لا يكفي عادة لأن تكون هيكل أساسي للرفع مما يترتب عليه استخدام عدة حلقات متجاورة — سواء مقفلة أو موصلة — تشكل فيما بينها شبكة ترافرسات . وفي شكل ( ٥٧ ) موضع عدة أمثلة لشبكات ترافرسات .

المثال الأول لشبكة مكونة من ثلاث حلقات مقفلة I ، II ، III مشتركة في الأضلاع ١٣ — ح — ١ ، ٧ — ٦ — ح ، ح — ح .

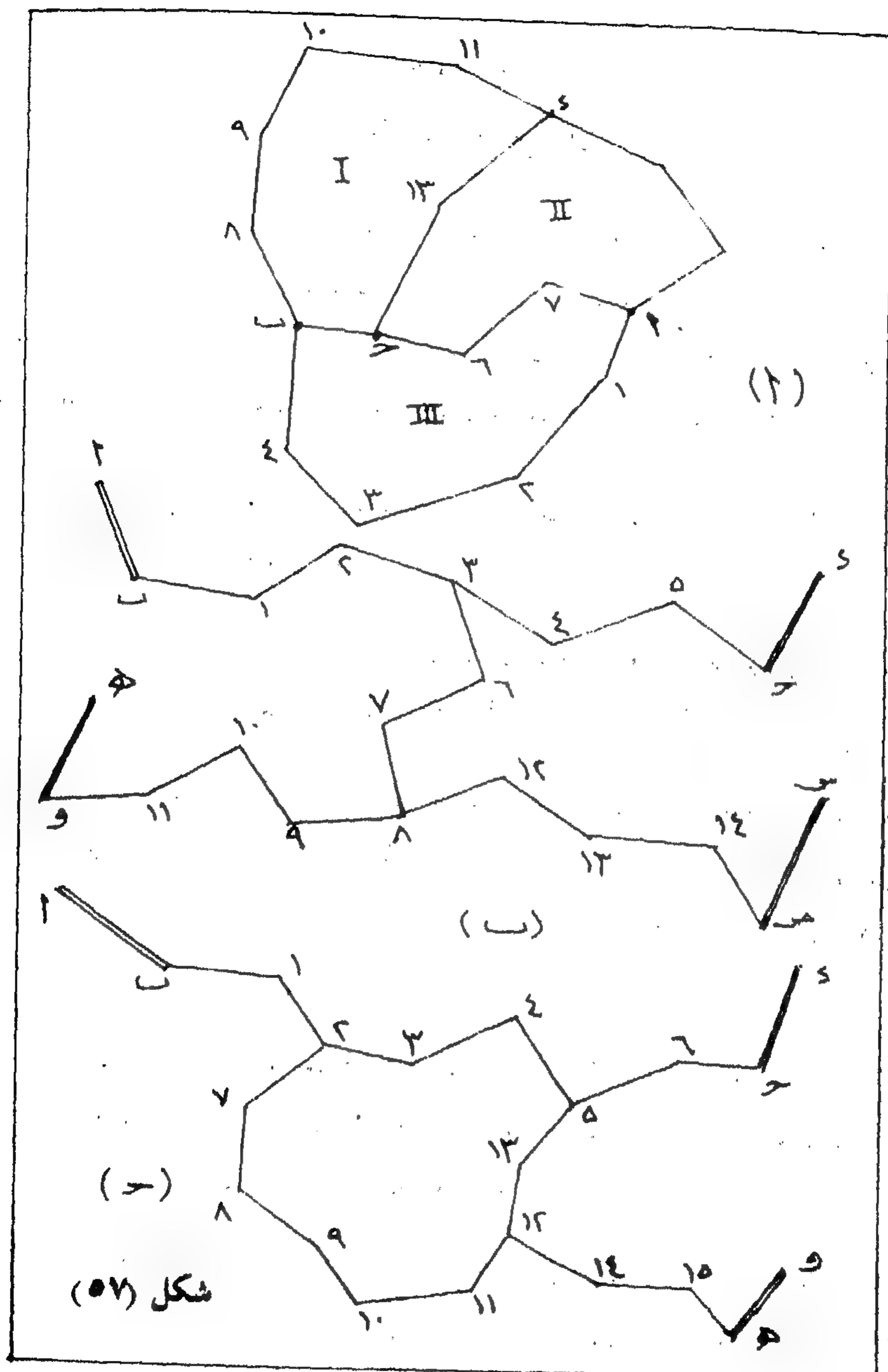
والمثال الثاني لشبكة من الترافرسات الموصلة والمتصلة مع بعضها في النقط ٣ ، ٨ والتي تربط على الخطوط الثابتة أ ب ، ح د ، هـ و ، ص س .

والمثال الثالث الموضح في نفس الشكل يبين شبكة ترافرسات مكونة من مضلع مقفل يربط على ثلاث خطوط ثابتة أ ب ، ح د ، هـ و ، وذلك بواسطة الترافرسات الموصلة ٢ — ١ — ب ، ٥ — ٦ — ح ، ١٢ — ١٤ — ١٥ — د .

وحسب ما درسنا سابقاً فإنه للحصول على الإحداثيات الصحيحة لجميع  
نقط الترافرس لابد من الحصول على الاتجاهات المصححة لجميع خطوط هذا  
الترافرس وكذلك المركبات المصححة لهذه الخطوط .

وفي حالة الترافرسات المركبة فإن عملية التصحيح تبدو للوهلة الأولى أنها صعبة ومعقدة وذلك لأنه إذا أردنا أن نصحح الشبكة الموضحة في شكل (٥٧ - أ) فلا بد أن نصحح كل من خطأ القفل للأفق عند نقطة ح ثم خطأ القفل الزاوي للمضلعات I ، II ، III بحيث أن نتيجة التصحيح لزاوية مثل







١٣ فى المضلع I تكون هى نفس النتيجة للزاوية ١٣ أيضاً فى المضلع II ، وبالمثل لباقى الزوايا المشتركة فى أكثر من مضلع .

وبالمثل بالنسبة لمركبات الأضلاع لابد وأن نحصل على التصحيح فيها الذى يؤدى إلى الحصول على الإحداثيات الصحيحة والمحسوبة بأخذ أى مسار من المسارات المختلفة فى الشبكة .

ولو درسنا شبكة الترافرسات الموصلة الموضحة فى شكل ( ٥٧ - ب ) نجد أنه لتصحيح إنحرافات هذه الشبكة لدينا عدة مسارات مختلفة ومتداخلة مثل من ( ا ب ) إلى ( د ح ) أو إلى ( و هـ ) أو إلى ( ص س ) أو من ( د ح ) إلى ( ا ب ) أو ( ص س ) أو ( و هـ ) ... الخ ، الأمر الذى يمكن الحصول منه على أكثر من إنحراف للخط الواحد حسب المسار المتبع للتصحيح .

ولو طبقنا نفس الأسلوب على الشبكة الموضحة فى شكل ( ٦٧ - ح ) نجد أننا سوف نقابل كل الظروف التى ذكرت سابقاً .

ويمكن التغلب على جميع العقبات الخاصة بتصحيح هذا النوع من الشبكات وضبطها بدقة بإستخدام معادلات نظرية الأخطاء مع معرفة المعادلات الشرطية فى كل حالة ، إلا أن من عيوب هذه الطريقة أنها مطولة جداً وصعبة التطبيق فى الشبكات المركبة الكبيرة إلا إذا استخدم الحاسب الآلى فى الضبط .

وهناك طرق أخرى دقيقة أيضاً وعملية وسهلة التطبيق وأهمها طريقة التصحيح المتتالى التى استنبطها ف . بوبوف والتى يمكن إستخدامها سواء للترافرسات المركبة المقفلة أو الموصلة .

وأحياناً تكون الشبكة بسيطة التركيب بحيث يمكن ضبطها بتقسيمها إلى مضلع مقفل يربط عليه مضلع أو أكثر موصل . وطريقة الضبط فى هذه الحالة تعتبر طريقة تقريبية إلا أن النتائج التى نحصل عليها تعتبر كافية خاصة إذا ما كانت الدقة المطلوبة غير كبيرة .



وفيما يلي سنورد طريقة الضبط التقريبية لشبكات الترافرسات البسيطة  
وطريقة التصحيح المتتالي الدقيقة لشبكات الترافرسات المركبة .

## ضبط شبكات الترافرسات البسيطة

### بالطريقة التقريبية

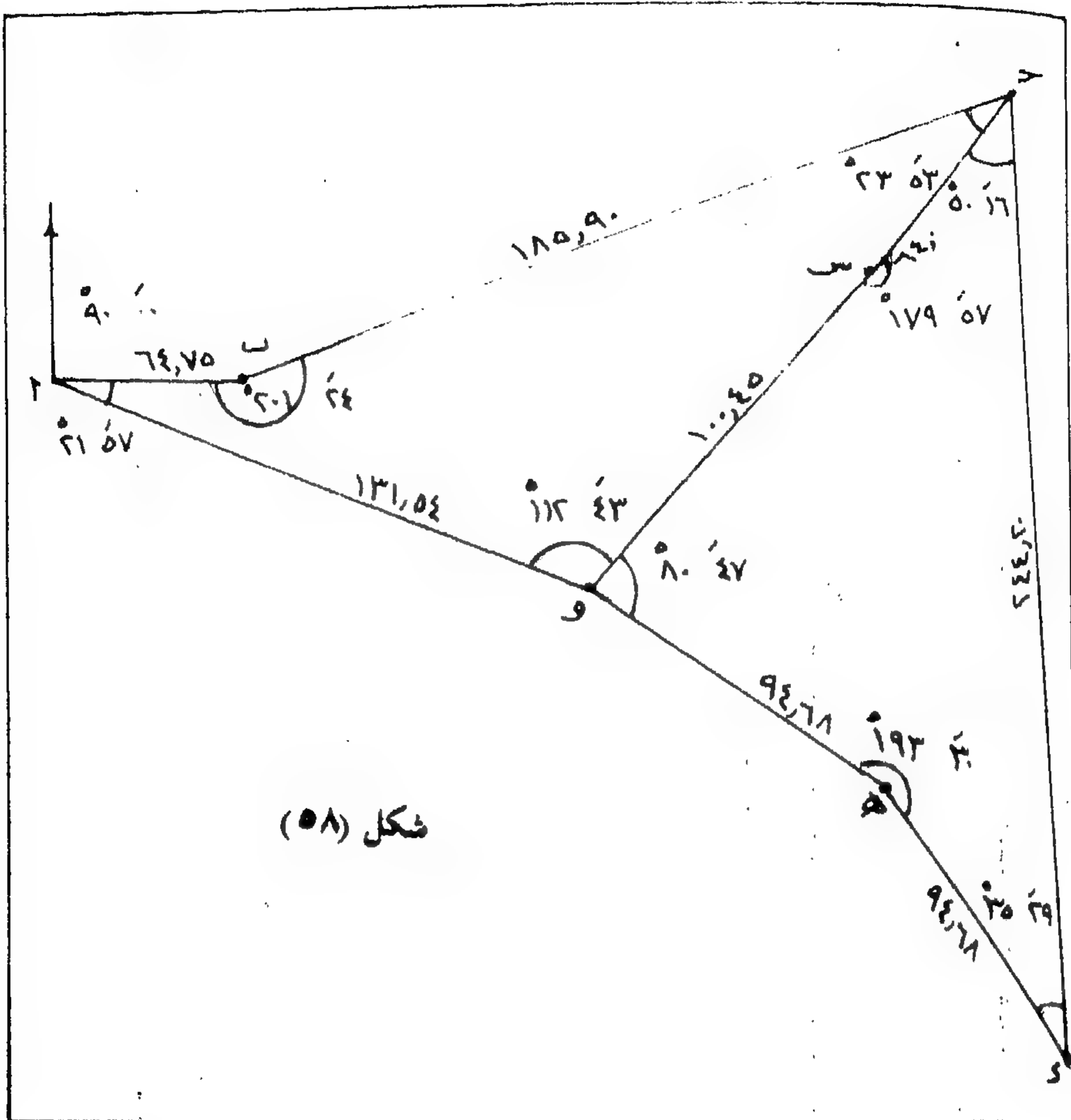
شكل ( ٥٨ ) يوضح كروكي لشبكة ترافرسات بسيطة تربط بين النقط  
ا ، ب ، ح ، د ، هـ ، و ، س . قيست أطوال أضلاع هذه الشبكة وكذلك  
الزوايا المحصورة بين هذه الأضلاع بتيودوليت دقته ' ١ ووضحت الكميات  
المقاسة على الكروكي ، كذلك عين انحراف الخط ا ب فكان مساوياً ٥٩ .  
وكانت إحداثيات نقطة ا هي :

$$س_ا = + ٦٨٠,٩٩ \text{ متر} ، ص_ا = \text{صفر}$$

والمطلوب حساب الأحداثيات الصحيحة لجميع نقط الشبكة . ولإتمام هذا  
يمكن اعتبار أن الشبكة عبارة عن ترافرس مقفل ا ب ح د هـ و ا يربط عليه  
ترافرس موصل و س ح يبدأ من نقطة و وينتهي عند نقطة ح وخط الربط  
الأول له هو الضلع هـ و من الترافرس المقفل وخط الربط الأخير هو الضلع  
ح د من الترافرس الأول المقفل والخطوات التالية توضح طريقة الحساب :

١ — نبدأ أولاً بضبط الترافرس المقفل ا ب ح د هـ و ا فنحسب خطأ  
القفل الزاوي له . ومن جدول (١٣) نجد أن قيمة هذا الخطأ تساوي — ' ١  
وحيث أن المسموح به في الترافرسات المقفلة هو  $\pm ١,٥$  و  $\sqrt{٧}$  هـ ( أى  
 $\pm ٣,٦$  في حالتنا هذه ) فإن هذا الخطأ يوزع على زوايا هذا المضلع وبأشارة  
مخالفة . ولما كانت الدقة المطلوبة في نفس دقة القياس — أى دقيقة واحدة —  
لذا لا داعى لحساب كسور الدقيقة ويوزع خطأ القفل الزاوي على الزاوية  
ذات القيمة الصغيرة ( جدول (١٣) أعطى التصحيح للزاوية المقاسة عندها ) .





٢ — بمعلومية انحراف الخطات والزوايا المصححة عند كل نقطة (عمود ٤ في جدول ١٣) تحسب الانحرافات الدائرية للخطوط (عمود ٥) والانحرافات المختصرة (عمود ٦).

٣ — بمعلومية أطوال الأضلاع والانحرافات المختصرة تحسب المركبات الأفقية والرأسية لأضلاع الترافرس (عمود ٨ ، ٩) .

٤ — تجمع المركبات الأفقية جبرياً وكذلك المركبات الرأسية فنحصل على مركبات خطأ القفل الضلعي ومن جدول (١٣) نجد أن :



جدول رقم ( ١٣ ) : ضبط حلقة المقفلة الرئيسية

إحداثيات النقط		المركبات الرأسية		مركبة رأسية	مركبة أفقية	طول الصلح ( متر )	الأنحرافات المختصرة	الأنحرافات الدائرية	الروايا المصححة	الروايا المقاسة	الصلح	النقطة
رأسية	أفقية	رأسية	أفقية									
١٣	١٢	١١	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١
٠٠,٠٠	٦٨٠,٩٩ -	٠,٠٣ -	٦٤,٧٣ +	٠٠,٠٠ +	٦٤,٧٥ +	٦٤,٧٥	ش ٩٠٠٠ ق	٥٩٠,٠٠	٢١٠,٥٨	٥٢١,٥٧	اب	١
٠٠,٠٣ -	٧٤٥,٧٢ +	٦٧,٧٦ -	١٧٣,٠٥ -	٦٢,٨٣ +	١٧٣,٠٩ +	١٨٥,٩٠	ش ٦٨,٣٦ ق	٦٨,٣٦	٢٠١,٢٤	٢٠١,٢٤	ج	٢
٦٧,٧٣ +	٩١٨,٧٧ +	٢٤٣,١٥ -	٢٣,٥٦ +	٢٤٣,٠٥ -	٢٣,٦٢ +	٢٤٤,٢٠	ش ٥٥,٣٣ ق	١٧٤,٧٧	٣٤,٠٩	٧٤,٠٩	د	٣
١٧٩,٤٢ -	٩٤٦,٣٣ +	٧٦,٣٨ -	٦٢,١٨ -	٧٦,٤٢ +	٦٦,١٦ -	٩٤,٦٨	ش ١١,٠٢ ع	٢١٨,٥٨	٣٥,٢٩	٣٥,٢٩	هـ	٤
١٠٤,٠٤ -	-٨٨٠,١٥ +	٥٤,٨٩ +	٧٧,١٤ -	٥٤,٩٣ +	٧٧,١٢ -	٩٤,٦٨	ش ٥٤,٣٢ ع	٣٠٥,٦٨	١٩٣,٣٠	١٩٣,٣٠	و	٥
٤٩,١٥ -	٨٠٣,٠١ +	٤٩,١٥ +	١٢٢,٢ -	٤٩,٢٠ +	١٢٢,٩٩ -	١٣١,٥٤	ش ٦٨,٠٢ ع	٢٩١,٥٨	١٩٣,٣٠	١٩٣,٣٠	ز	٦
٠٠,٠٠	٦٨٠,٩٩ +											١
		متر	متر	٠,٣٣ -	٠,١٩ -	٨١٥,٧٥			١٧٢٠,٠٠	٥٧١٩,٥٩		Σ



$$\Delta \text{ س } = + 0,19 \text{ متر}$$

$$\Delta \text{ ص } = + 0,33 \text{ متر}$$

وبذا يكون خطأ القفل  $\Delta \text{ ل } = \sqrt{(0,33)^2 + (0,19)^2} = 0,38 \text{ متر}$

$$\frac{1}{2000} > \frac{1}{2150} \div \frac{0,38}{816} = \frac{\Delta \text{ ل}}{\text{ل}}$$

مسموحاً به

٥ — يوزع الخطأ على المركبات بأشارة مخالفة فنحصل على المركبات المصححة ( عمود ١٠ ، ١١ ) .

٦ — بمعلومية إحداثيات نقطة أ ومركبات الأضلاع نحصل على الإحداثيات الصحيحة لنقط الترافرس المقفل أ ب ح د هـ و ا ( عمود ١٢ ، ١٣ ) .

٧ — وآلآن نعتبر الترافرس الموصل و س ح الذي يبدأ من نقطة و المعلومة الإحداثيات ومن خط الربط الأول هـ و ذى الانحراف الصحيح وينتهى عند نقطة ح المعلومة الإحداثيات أيضاً وعند خط الربط الأخير ح د ذى الانحراف الصحيح أيضاً .

٨ — من المعادلة (٥٩) يتم حساب خطأ القفل الزاوى ( أو بتسلسل حساب الانحرافات من الضلع هـ و حتى الضلع ح د ) . ومن جدول (١٤) نجد أن مقدار خطأ القفل الزاوى يساوى — ١' وهو مسموح به لأن المسموح به يساوى  $\pm 2$  و  $\sqrt{2}$  ووزع أيضاً على الزاوية القريبة من  $90^\circ$  ( الزاوية عند س ) والقيم المصححة للزاويا موضحة فى هذا الجدول فى عمود (٣) .



جدول رقم (١٤) : ضبط الحلقة الموصلة

أحداثيات النقط		المركبات المصححة		مركبة أفقية	طول الصلح متر	الأخوارافات المختصرة	الأخوارافات الدائرية	المصححة الزوايا	الزوايا المقاسة	النقطة
رأسية	أفقية	رأسية	أفقية							
١٢	١١	١٠	٩	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١
٤٩,١٥ -	٨٠,٣,٠١ +	٧١,٤١ +	٧١,٧٠ -	٧٠,٦٤ +	١٠٠,٤٥	ش ٠٤٤٤٤ ق	٣٠,٥٢٨	٨٠,٤٧	٨٠,٤٧	٢
٢٢,٢٦ +	٨٧٣,٧١ +	٤٥,٤٧ +	٤٥,٠٦ +	٤٥,٠٣ +	٦٤,٠٠	ش ٠٤٤٤٤ ق	٤٤,٤١	١٧٩,٥٨	١٧٩,٥٧	٣
٦٧,٧٣ +	٩١٨,٧٧ +						١٧٤,٢٧	٥٠,١٦	٥٠,١٦	٤
										٥
										٦
										٧
										٨
										٩
										١٠
										١١
										١٢
										١٣
										١٤
										١٥
										١٦
										١٧
										١٨
										١٩
										٢٠
										٢١
										٢٢
										٢٣
										٢٤
										٢٥
										٢٦
										٢٧
										٢٨
										٢٩
										٣٠
										٣١
										٣٢
										٣٣
										٣٤
										٣٥
										٣٦
										٣٧
										٣٨
										٣٩
										٤٠
										٤١
										٤٢
										٤٣
										٤٤
										٤٥
										٤٦
										٤٧
										٤٨
										٤٩
										٥٠
										٥١
										٥٢
										٥٣
										٥٤
										٥٥
										٥٦
										٥٧
										٥٨
										٥٩
										٦٠
										٦١
										٦٢
										٦٣
										٦٤
										٦٥
										٦٦
										٦٧
										٦٨
										٦٩
										٧٠
										٧١
										٧٢
										٧٣
										٧٤
										٧٥
										٧٦
										٧٧
										٧٨
										٧٩
										٨٠
										٨١
										٨٢
										٨٣
										٨٤
										٨٥
										٨٦
										٨٧
										٨٨
										٨٩
										٩٠
										٩١
										٩٢
										٩٣
										٩٤
										٩٥
										٩٦
										٩٧
										٩٨
										٩٩
										١٠٠
										١٠١
										١٠٢
										١٠٣
										١٠٤
										١٠٥
										١٠٦
										١٠٧
										١٠٨
										١٠٩
										١١٠
										١١١
										١١٢
										١١٣
										١١٤
										١١٥
										١١٦
										١١٧
										١١٨
										١١٩
										١٢٠
										١٢١
										١٢٢
										١٢٣
										١٢٤
										١٢٥
										١٢٦
										١٢٧
										١٢٨
										١٢٩
										١٣٠
										١٣١
										١٣٢
										١٣٣
										١٣٤
										١٣٥
										١٣٦
										١٣٧
										١٣٨
										١٣٩
										١٤٠
										١٤١
										١٤٢
										١٤٣
										١٤٤
										١٤٥
										١٤٦
										١٤٧
										١٤٨
										١٤٩
										١٥٠
										١٥١
										١٥٢
										١٥٣
										١٥٤
										١٥٥
										١٥٦
										١٥٧
										١٥٨
										١٥٩
										١٦٠
										١٦١
										١٦٢
										١٦٣
										١٦٤
										١٦٥
										١٦٦
										١٦٧
										١٦٨
										١٦٩
										١٧٠
										١٧١
										١٧٢
										١٧٣
										١٧٤
										١٧٥
										١٧٦
										١٧٧
										١٧٨
										١٧٩
										١٨٠
										١٨١
										١٨٢
										١٨٣
										١٨٤
										١٨٥
										١٨٦
										١٨٧
										١٨٨
										١٨٩
										١٩٠
										١٩١
										١٩٢
										١٩٣
										١٩٤
										١٩٥
										١٩٦
										١٩٧
										١٩٨
										١٩٩
										٢٠٠
										٢٠١
										٢٠٢
										٢٠٣
										٢٠٤
										٢٠٥
										٢٠٦
										٢٠٧
										٢٠٨
					</					



٩ — تحسب أيضاً الانحرافات الدائرية لخطوط لهذا الترافرس ( عمود ٤ )  
والانحرافات المختصرة ( عمود ٥ ) . كذلك المركبات الأفقية والرأسية  
للأضلاع ( عمود ٧ ، ٨ ) وبمعلومية هذه المركبات وإحداثيات نقطتي الربط  
نوجد خطأ القفل الضلعي . ومن الجدول (١٤) نجد أن :

$$\Delta \text{ س} = ٠,٠٩ \text{ متر} ، \Delta \text{ ص} = ٠,٠٢ \text{ متر}$$

$$\Delta \text{ ل} = ٠,٠٩٢$$

$$\text{والخطأ النسبي} = \frac{\Delta \text{ ل}}{\text{ل}} = \frac{٠,٠٩٢}{١٦٤,٤٥} = \frac{١}{١٧٨٨}$$

١٠ — باعتبار أن خطأ القفل النسبي مسموحاً به يوزع الخطأ على  
المركبات بأشارة مخالفة فنحصل على المركبات الصحيحة للضلعين و س ،  
س ح ومن أى منهم وبمعلومية إحداثيات نقط الربط نحصل على إحداثيات  
نقطة س كما هو مبين بالجدول .

ملحوظة : كان من الممكن ضبط هذه الشبكة باعتبار الترافرس المقفل  
ا ب ح س و ا ، والترافرس الموصل الذى يربط عليه هو ح د ه و — أو  
باعتبار الترافرس المقفل و س ح د ه و ، والترافرس الموصل الذى يربط عليه  
هو و ا ب ح إلا أن الطريقة التى أتبعناها فى الحل تعطى نتائج أدق نظراً لقصر  
مسار الترافرس الموصل المأخوذ .



## طريقة التصحيح المتتالي لضبط شبكات الترافرس طريقة بوبوف

أولاً — إذا كانت الشبكة مكونة من مجموعة من الترافرسات المقفلة :  
فيما يلي سنبين خطوات الضبط بالاستعانة بمثال للشبكة المبينة في شكل  
( ١٥٩ ) والمكونة من ثلاث حلقات مقفلة :  
١ — يرسم كروكي للشبكة المطلوب تصحيحها ونبين عليه نقط الشبكة  
وقيم الزوايا المرصودة .

٢ — نجرى عملية تصحيح للزوايا عند النقط التي يقفل فيها الأفق . وفي  
الشبكة الموضحة هي النقط ٧ ، ٨ ، ( شكل ٥٩ — ١ ) بحيث يكون  
مجموع الزوايا التي تقفل الأفق مساوياً ٥٣٦٠° ويجرى توزيع الخطأ بالتساوي  
على الزوايا عند كل من هذه النقط .

٣ — يحسب خطأ القفل الزاوي في كل مضلع مقفل في الشبكة ويقارن  
بالمسموح به .

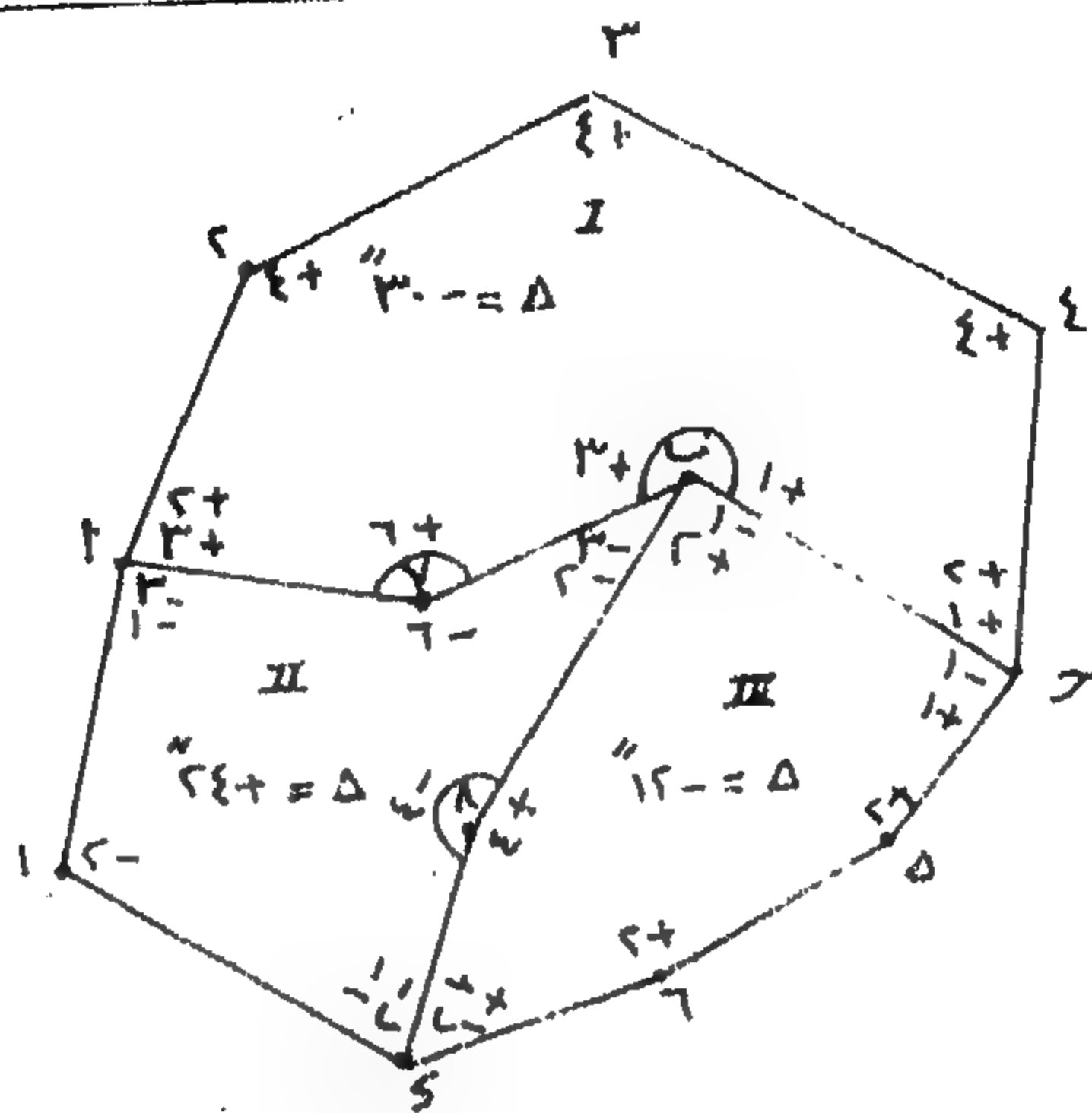
خطأ القفل المسموح به $\pm 1,5$ و $\sqrt{5}$ ..... (٦١)
--

حيث :

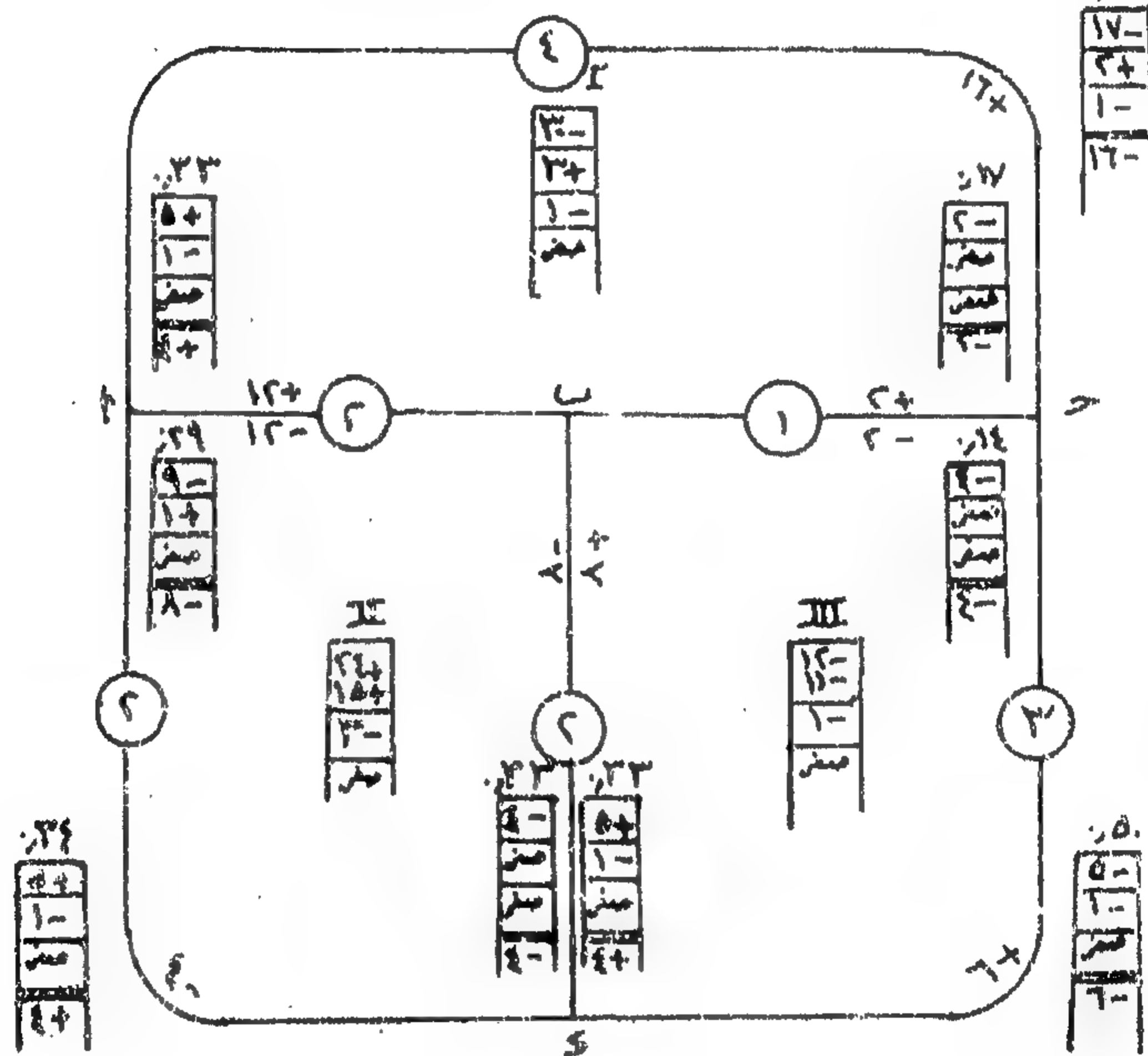
و = دقة التيودوليت الذي أجريت به الأرصاد .

فإذا كان الخطأ مسموحاً به نجرى عملية التصحيح . أما إذا كان غير  
مسموح به فنبحث عن الزوايا التي نشك أن بها أخطاء ويعاد رصدها . وفي  
مثال شكل ( ٥٩ — ١ ) حسب خطأ القفل الزاوي في كل مضلع وكتب  
داخل المضلع بأشارته .





(۱)



شکل (۵۹) (ب)



٤ — لأجراء التصحيح نستعين بكروكي مبسط للشبكة على شكل مجموعة من المستطيلات المتجاورة عددها وترتيبها والحدود المشتركة هو نفس الموجود في الشبكة الأصلية كما هو موضح في شكل ( ٥٩ — ب ) فمثلاً المضلع ا ب في شكل ( ٥٩ — ب ) يمثل الحد المشترك ( ا — ٧ — ب ) بين المضلعين I ، II في شكل ( ٥٩ — ا ) . والمضلع ب د في شكل ( ٥٩ — ب ) يمثل الحد المشترك ( ب — ٨ — د ) بين المضلعين II ، III في شكل ( ٥٩ — ا ) ويدون على كل حد من حدود المستطيلات عدد الأضلاع المكونة لهذا الحد في الشبكة الأصلية . فنكتب مثلاً على الحد د ه الرقم ٣ دلالة على أنه هو عدد أضلاع هذا الحد في الشبكة الأصلية . وهكذا بالنسبة لباقي الحدود .

٥ — بالنسبة لكل مستطيل ممثل للحلقة يتم الآتي :

- ا — يدون داخله رقم المضلع الذي يمثله هذا المستطيل ( I أو II أو ... ) .
- ب — أسفل الرقم يعمل جدول لأخطاء هذا المضلع الواجب تصحيحها .
- ح — يعمل على كل حد من الخارج جدول لتوزيع أخطاء المضلع الممثل بهذا المستطيل .

فمثلاً داخل المستطيل العلوى في شكل ( ٥٩ — ب ) والممثل للمضلع I رسم جدول الأخطاء ، وخارج المستطيل رسمنا جدول توزيع الأخطاء على الحدود ا ب ، ب ح ، ح د ، د ا . وبالمثل للمستطيلين الممثلين للمضلعين II ، III مع ملاحظة أن الحدود المشتركة لها جدول توزيع في الجهتين المتضادتين من الحد في حين أن الحدود غير المشتركة لها جدول واحد فقط .

٦ — يوزع خطأ القفل الزاوى على كل حد من حدود المضلع المقفل ( سواء أكان حداً مشتركاً أو غير مشترك مع مضلع آخر ) وذلك حسب معاملات توزيع .



$$\text{معامل التوزيع (ك) لأي حد} = \frac{\text{عدد أضلاع الحد}}{\text{عدد أضلاع المضلع المقفل الكلية}} = \frac{ح}{هـ}$$

..... (٦٢)

وتدون معاملات التوزيع على الجداول الخاصة بكل حد في هذا المضلع المقفل ويجب حساب معاملات التوزيع مقربة في ثانی رقم عشری ، ففي المثال في المضلع I .

$$ك ا ح = \frac{٤}{١ + ٢ + ٤} = ٠,٥٧$$

$$ك ا ب = \frac{٢}{١ + ٢ + ٤} = ٠,٢٩$$

$$ك ب ح = \frac{١}{١ + ٢ + ٤} = ٠,١٤$$

وللتحقيق يجب أن يكون مجموع معاملات التوزيع للمضلع الواحد مساوياً لواحد الصحيح .

٧ - تكتب قيم خطأ القفل في كل مضلع بإشارتها داخل جدول الخطأ وتبدأ التوزيع من المضلع الذي يكون فيه خطأ القفل أكبر ما يمكن . وفي المثال بدأنا بالمضلع I الذي فيه خطأ القفل = - ٣٠ . توزع قيمة هذا الخطأ على الحدود ا ح ، ح ب ، ب ا حسب النسب المحسوبة والمدونة أعلى جداول التوزيع الخاصة بهذه الحدود وعلى هذا كان نصيب الحد ا ح هو ( - ١٧ ) والحد ح ب هو ( - ٤ ) والحد ب ا هو ( - ٩ ) .

في المضلع الذي يليه في الترتيب وهو II نجد أن خطأ القفل + ٢٤ ولكن أضيف إليه من المضلع I خطأ قدره ( - ٩ ) وبالتالي فإن مجموع خطأ



القفل لهذا المضلع أصبح  $+ ١٥$  " يوزع على الحدود  $ا، ب، د، هـ$  حسب معاملات التوزيع لكل منها ، فيكون نصيب الأول هو  $+ ٥$  " والثاني  $+ ٥$  " والثالث  $+ ٥$  " .

٨ - في المضلع الثالث III خطأ القفل فيه هو  $- ١٢$  " . ولكن أضيف إليه من I (  $- ٤$  " ) ومن II (  $- ٥$  " ) وبالتالي يصبح خطأ القفل فيه (  $- ١١$  " ) توزع على الحدود  $ا، ب، د، هـ$  فنصيب الأول (  $- ٢$  " ) والثاني (  $- ٥$  " ) والثالث (  $- ٤$  " ) ( مع ملاحظة أننا أهملنا كسور الثانية في التوزيع مع الاحتفاظ بأن مجموع التوزيعات يساوى مقدار الخطأ الضلعى ) . وبذا يتم توزيع خطأ القفل الأصلى .

٩ - إلا أننا نلاحظ أن المضلع الأول أضيف إليه من المضلع الثانى والثالث خطأ جديد قدره (  $+ ٥$  " ) ، (  $- ٢$  " ) أى بمقدار (  $+ ٣$  " ) لهذا نبدأ بدورة جديدة من التوزيع تبدأ من هذا المضلع وبنفس الترتيب السابق . وتكرر دورات التوزيع لتصبح قيمة الخطأ فى أى مضلع مساوية للصفر . وفى المثال حصلنا على هذه النتيجة فى الدورة الثالثة للتصحيح .

١٠ - نحسب بعد ذلك لكل جدول توزيع المجموع الجبرى لقيم التوزيع

به .

١١ - قيم التصحيح لزوايا كل حد نحصل عليها كآلاتى :

١ - بالنسبة للحدود غير المشتركة فى الشبكة يكون التصحيح لزوايا هذا الحد مساوياً قيمة المجموع الجبرى للتصحيحات فى جدول التوزيع الخاص بهذا الحد بإشارة مخالفة فمثلاً بالنسبة للحد  $ا$  التصحيح لزواياه مساوياً  $+ ١٦$  " توزع بالتساوى على الأربعة اتجاهات لهذا الحد بمعنى أن يأخذ كل من الزوايا ٢ ، ٣ ، ٤ (  $+ ٤$  " ) ويعطى نصف للتصحيح (  $- ٢$  " ) للزاوية عند  $ا$  والنصف الآخر للزاوية عند  $ح$  . بالمثل للحد  $ب$  والحد  $د$  .



ب - بالنسبة للحدود المشتركة يكون التصحيح للحد في أحد المضلعات مساوياً لمجموع التصحيحات في جدول التوزيع داخل المضلع لهذا الحد مطروحاً منها مجموع التصحيحات في جدول التوزيع خارج المضلع لنفس الحد ، فمثلاً للحد  $ab$  في المضلع  $abcd$  التصحيح مساوياً  $+ 4 - (8 -) = + 12$  ولنفس الحد في المضلع  $abed$  التصحيح مساوياً  $- 8 - (4 +) = - 12$  . وهذا هو ما كنا نسعى إليه أى الحصول على قيم تصحيح في الزوايا المشتركة متساوية . ويوزع التصحيح بالتساوى أيضاً على الانحرافات الأضلاع أى  $+ 6$  للزاوية  $\gamma$  في المضلع  $abcd$  ،  $+ 3$  لكل من الزوايا عند  $d$  ،  $a$  في نفس المضلع . وبالمثل للحد  $cd$  ، والحد  $bc$  .

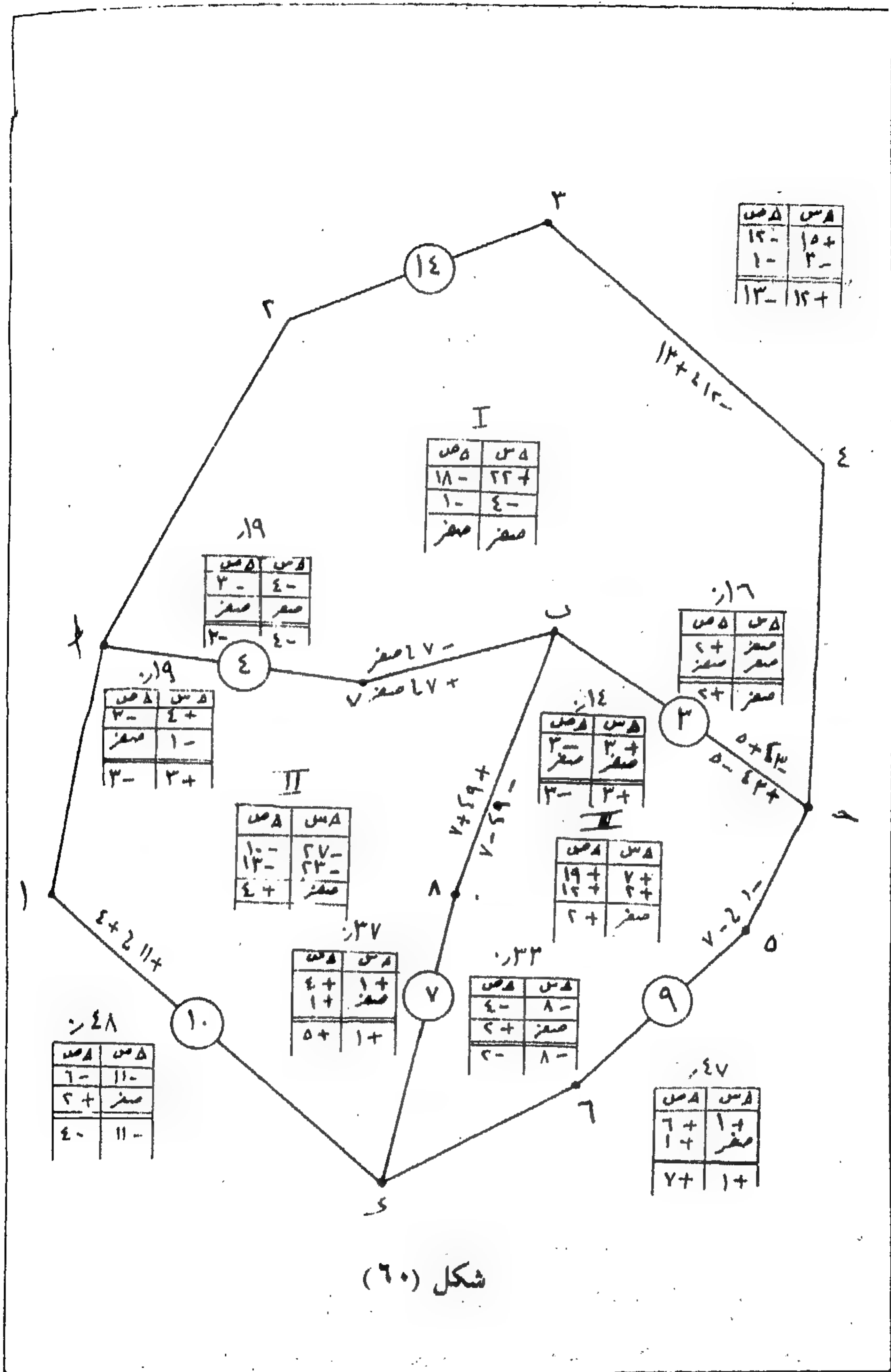
وفي شكل ( ٥٩ - ١ ) موضح قيم التصحيح للزوايا عند نقط الشبكة المختلفة . ونلاحظ أن التصحيح النهائى للزوايا الشبكة لم يؤثر على قفل الأفق عند أى نقطة ، فيها فمثلاً عند نقطة  $b$  المجموع الجبرى للتصحيح للزوايا مساوياً للصفر .

١٢ - المجموع الجبرى لقيم التصحيح في الزوايا لكل مضلع مقفل على حدة يجب أن يساوى قيمة خطأ القفل لهذا المضلع وبإشارة مخالفة .

١٣ - بعد الحصول على الزوايا المصححة في الشبكة تحسب الانحرافات الدائرية لكل ضلع وذلك بمعرفة انحراف أحد الأضلاع ، ثم وبمعرفة طول كل ضلع في الشبكة تحسب مركبات جميع الأضلاع ثم تحسب مركبات خطأ القفل  $\Delta$  س ،  $\Delta$  ص لكل مضلع مقفل في الشبكة كما هو متبع في الترافرسات المقفلة .

١٤ - لتصحيح خطأ القفل للشبكة نستعين بـ  $60$  ( شكل  $60$  ) ويوضح عليها أيضاً نقط الشبكة ومجموع أطوال أضلاع كل حد فيها بمئات الأمتار وداخل كل مضلع مقفل نرسم جدول مكون من عمودين الأول







للمركبة الأفقية لخطأ القفل في المضلع ( $\Delta$  س) والثانية للمركبة الرأسية ( $\Delta$  ص) بالسنتيمتر وخارج كل مضلع مقفل وعلى حدوده ترسم جداول التوزيع بنفس الطريقة التي أتبعته في شكل (٥٩ - ب) ، وتحسب معاملات التوزيع لكل جدول توزيع على أساس أن الخطأ يوزع على كل حد بنسبة طول هذا الحد إلى مجموع أطوال المضلع المقفل  $\Sigma L$  (توزيع الخطأ يتم على أساس طريقة بودتش) أي أن :

$$K = \frac{L}{\Sigma L}$$

فمثلاً في المضلع I إذا كان مجموع أطوال الحدا ح هو ١٤٠٠ متر (كتب ١٤ على الحد) والحد ح ب ٣٠٠ متر ، والحد ا ٤٠٠ متر فإن نسب التوزيع تكون لهذا المضلع هي :

$$K_a = \frac{14}{21} = 0,67$$

$$K_b = \frac{3}{21} = 0,14$$

$$K_c = \frac{4}{21} = 0,19$$

ونلاحظ هنا أن مجموع معاملات التوزيع لابد أن تساوى الواحد الصحيح وبالمثل توجد معاملات التوزيع لكل من المضلعين II ، III .

١٥ - يبدأ التصحيح في المضلع الذي فيه أكبر خطأ قفل وهو المضلع I فنوزع خطأ القفل ( $\Delta$  س) ، ( $\Delta$  ص) على حدود هذا المضلع المقفل بنسب التوزيع المحسوبة له كما هو موضح شكل (٦٠) فنجد أن نصيب المضلع II من هذا التصحيح هو + ٤ ، - ٣ سنتيمتر وبذا يكون مجموع خطأ القفل



في المضلع II هو - ٢٣ ، - ١٣ سبتيمتر ، وبالمثل نوجد التصحيح في هذا المضلع ثم نكرر العمل للمضلع II .

١٦ - نبدأ دورة تصحيح جديدة بدءاً بالمضلع I مع ملاحظة أن خطأ القفل في هذه الدورة هو المجموع الجبري للتوزيع من المضلعين II ، III الذي حصلنا عليه من الدورة السابقة للتوزيع .

١٧ - نستمر في التوزيع حتى يتلاشى خطأ القفل ( في شكل ٦٠ أكتفينا بثلاث دورات توزيع وكان يمكن الإستمرار حتى يصبح الخطأ مساوياً للصفر ) ومن ثم نوجد المجموع الجبري للتوزيعات ثم نحسب تصحيح المركبات لكل حد بنفس القاعدة التي اتبعت في إيجاد تصحيح الزوايا للحد الواحد أي أن :

التصحيح  $\Delta$  س لأي حد في مضلع ما  $= \Delta$  س من جدول التصحيح داخل هذا الحد -  $\Delta$  س من جدول التصحيح خارج هذا الحد .

فمثلاً للحد A في المضلع I  $\Delta$  س = - ٤ - ( ٣ + ) = - ٧

$\Delta$  ص = - ٣ - ( ٣ - ) = صفر

وللحد A في المضلع II  $\Delta$  س = + ٣ - ( ٤ - ) = + ٧

$\Delta$  ص = - ٣ - ( ٣ - ) = صفر

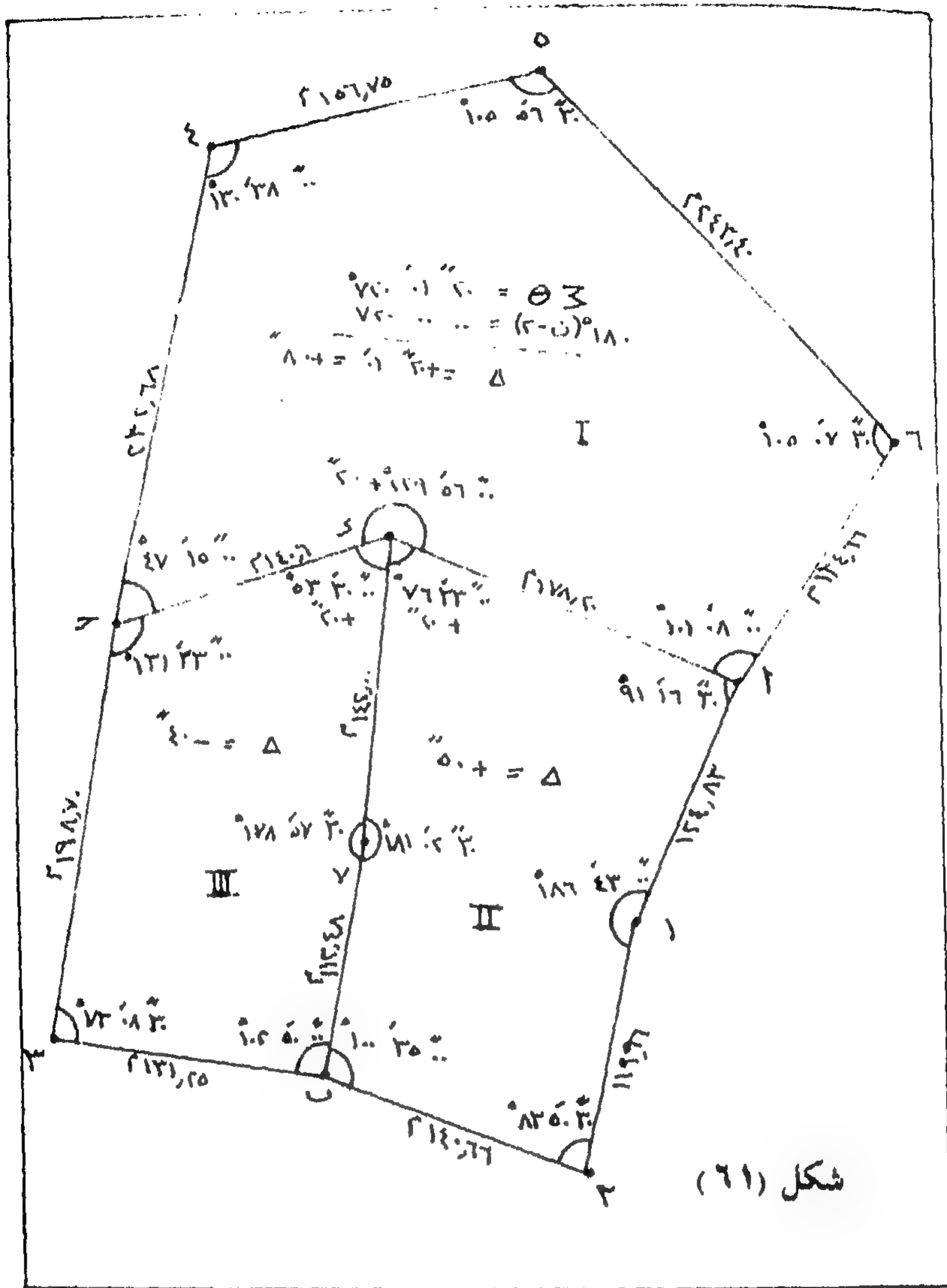
ويجب أن يكون المجموع الجبري للتصحيحات (  $\Delta$  س ) في المضلع الواحد يساوي مقدار الخطأ الأصلي في هذا المضلع بإشارة مخالفة .

١٨ - بعد الحصول على التصحيحات في كل حد نوزع التصحيح لكل حد على أضلاعه بنسبة طول الضلع الواحد إلى مجموع أضلاع هذا الحد .

مثال :

المطلوب حساب الاحداثيات الصحيحة لنقط الشبكة الموضحة في شكل (٦١) إذا علم أن إحداثيات نقطة A هي ( + ١٠٠٠ ، + ١٠٠٠ ) وأن





انحراف الضلع ب — ٣ هو ٣٠' ٥٢٦٧ . إذا علم أن قياس الزوايا تم  
 بتيودوليت دقته ٣٠" وأن دقة الحساب المطلوبة ١" لتصحيحات الحدود،  
 ٠,٠١" لتصحيحات الزوايا



## الحل :

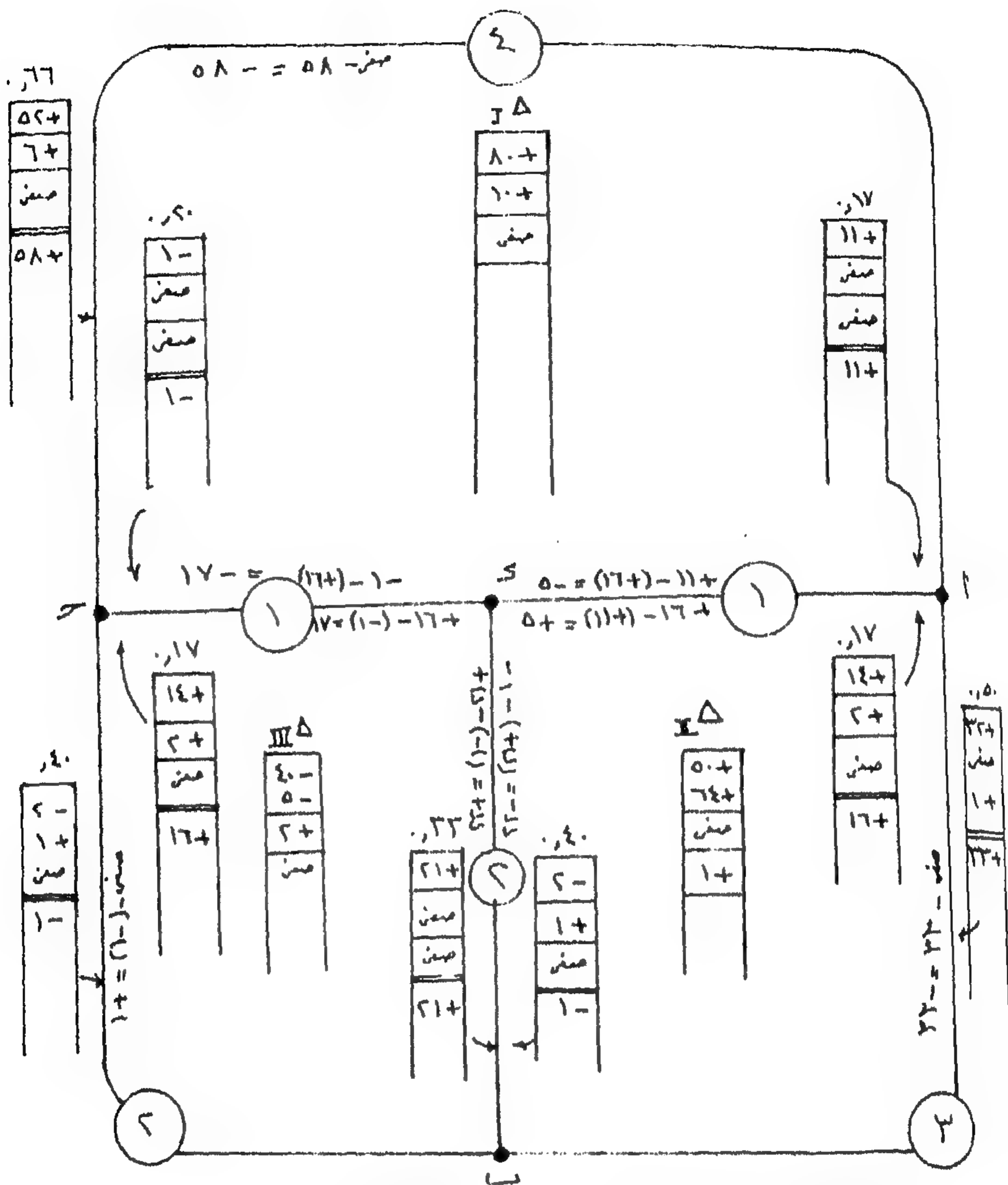
١ - نبدأ في تصحيح خطأ قفل الأفق للنقط المشتركة في الشبكة وهي نقطتي ٤ ، نقطة ٧ فنجد أن خطأ القفل عند ٧ يساوى صفر ، عند ٤ =  
- ١' يوزع على الثلاثة زوايا المحصورة عندها وبالتساوى وبأشارة مخالفة وبذا يكون التصحيح لكل زاوية + ٢٠" كما هو موضح بالشكل .

٢ - بعد تصحيح قفل الأفق عند النقط التي يتحقق فيها ذلك في الشبكة يتم حساب خطأ القفل الزاوى في كل حلقة مقفلة على حدة وذلك بمقارنة مجموع الزوايا المقاسة والمصححة لقفل الأفق مع المجموع النظرى لكل حلقة .  
ففى الحلقة ١ - ٤ - ٥ - ٦ - ١ خطأ القفل الزاوى مقداره + ٨٠" في حين أن المسموح به  $1,5 \times 30 = 45$  "  $110 = 6 \sqrt{}$  وعلى ذلك يتم توزيعه . وفى الحلقة ١ - ٢ - ٣ - ٤ - ٥ خطأ القفل الزاوى + ٥٠" والمسموح به  $1,5 \times 30 = 45$  " أى مسموح به أيضاً ، فى حين فى الحلقة ٢ - ٣ - ٤ - ٥ - ٦ كان خطأ القفل الزاوى - ٤٠" والمسموح به  $1,5 \times 30 = 45$  "  $100 = 5 \sqrt{}$  .

٣ - تم تسمية الحلقة ذات الخطأ الأكبر عددياً (I) والحلقة ذات الخطأ الأصغر مباشرة (II) والحلقة الأخيرة (III) .

٤ - لأجراء التصحيح لزوايا الحدود رسم كروكى مطابق للشبكة ( شكل ٦٢ ) ونظمت فيه جداول الأخطاء وجداول توزيع الأخطاء وحسبت معاملات التوزيع على كل جدول ثم بدء فى توزيع الأخطاء من المضلع ذو الخطأ الأكبر عددياً فالأقل فالأقل واستمر فى توزيع الأخطاء إلى أن تلاشت ثم حسبت مجاميع قيم التوزيعات فى الجداول وحسبت التصحيحات لكل حد ووضحت على الحدود فى شكل ( ٦٢ ) ، وكتحقيق للعمل الحساوى يحسب مجموع التصحيحات على الحدود لكل حلقة مقفلة فيجب أن يكون مساوياً مجموع الأخطاء بأشارة مخالفة . وبتطبيق ذلك :





تصحيحات الحدود لأقرب ثانية شكل (٦٢)

ل الحلقة ا - د - ح - ا :

$$٨٠ - = ٥ - ١٧ - ٥٨ -$$

ل الحلقة ا - ب - د - ا :

$$٥٠ - = ٢٢ - ٣٣ - ٥ +$$



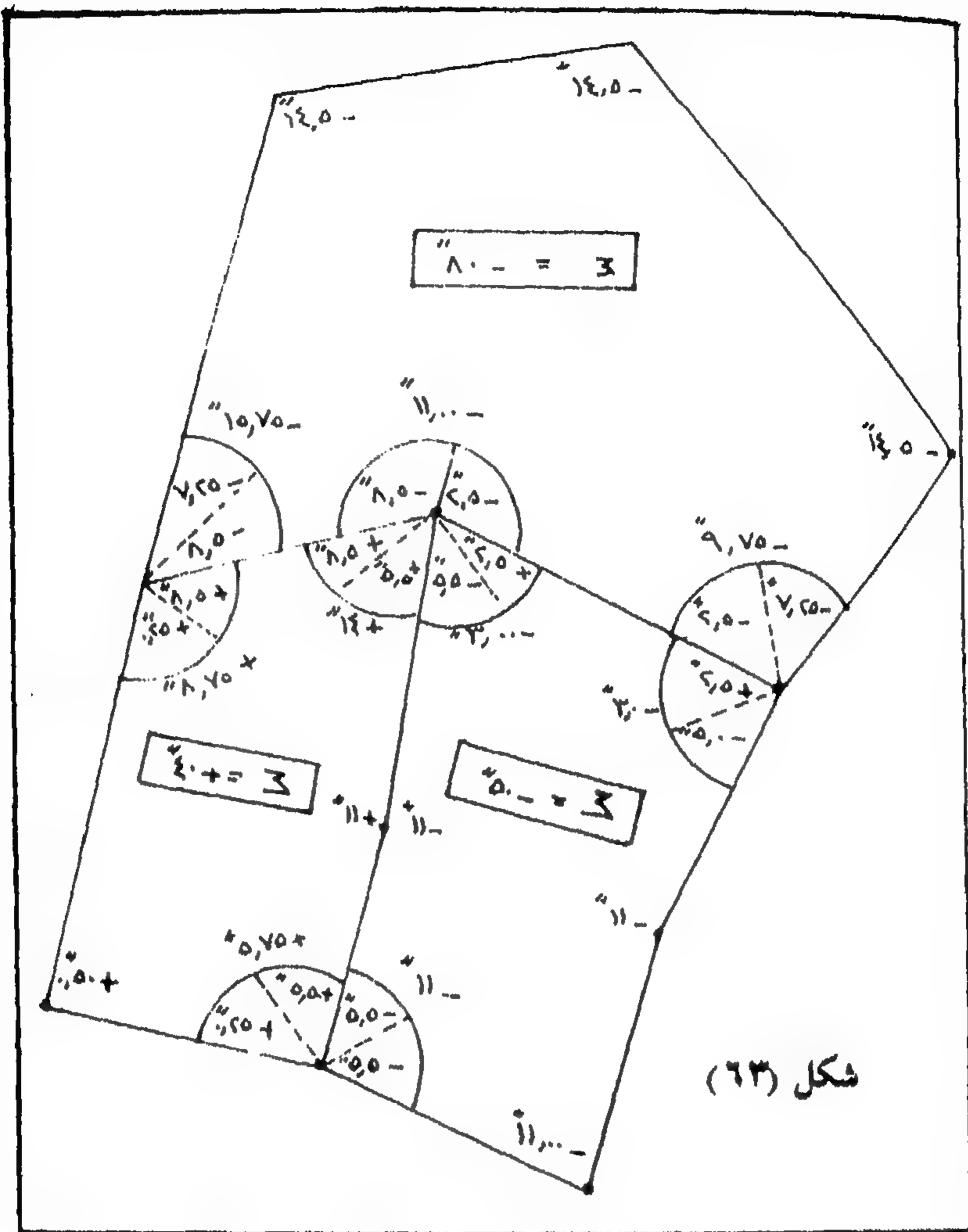
في الحلقة ب - ح - د - ب :

$$٤٠ + = ١٧ + ١ + ٢٢ +$$

٥ - في شكل ( ٦٣ ) تم حساب التصحيحات لكل زاوية من زوايا الشبكة .

٦ - لأجراء التصحيح لخطأ القفل الضلعى يتم اضافة التصحيحات الزاوية لكل زاوية من زوايا الشبكة . ولكل حلقة يتم حساب مركبات خطأ القفل الضلعى فيها . وفي جدول ( ١٥ ) مبين أطوال الأضلاع وقيم الزوايا المصححة والانحرافات الدائرية والمختصرة لكل ضلع ومقدار المركبات الأفقية والرأسية المحسوبة لكل ضلع ومقدار مركبات خطأ القفل الضلعى في كل حلقة . وقد تم حساب مقدار خطأ القفل الضلعى في كل حلقة ، ويلاحظ من الجدول أن الأخطاء في الحلقات الثلاثة أقل من ١ : ٢٠٠٠ أى مسموحاً بها .





تصحيحات الزوايا لأقرب ٠,١



جدول ( ١٥ ) حساب مركبات خطأ القفل  
المتعلق في الحلقات

القطعة	الزاوية المصححة	الضلع	الطول ( متر )	انحراف دائري	انحراف مختصر	مركبة أفقية ( متر )	مركبة رأسية ( متر )
١	٥١٠٢٥٠'٠٥,٧٥	٢ — ١	١٣١,٢٥	٥٢٦٧٣٠'٠٥,١٠٠	ح ٥٨٧٣٠	١٣١,١٣ -	٥,٧٣
٢	٧٣٠٨٣٠,٥٠	٣ — ٢	١٩٨,٧٠	١٤٢١٢٩,٥	ش ١٤٢١٢٩,٥٠	٤٥,٢٧ -	١٨٢,٤٩ -
٣	٥٣٣٠٣٤,٠٠	٤ — ٣	١٤٠,٦٠	٦٣٤٨٢٠,٧٥	ش ٦٣٤٨٢٠,٧٥	١٧٥,٠٦ +	٦٤,٢٦ +
٤	١٧٨٥٧٤١,٠٠	٥ — ٤	١٤٢,٠٠	١٨٩١٧٤٦,٧٥	ح ١٧٤٦,٧٥	٢٢,٩٤ -	٠٤,١٣
٥		٦ — ٥	١١٢,٤٨	١٩٠٢٠٠٥,٧٥	ح ١٠٢٠٠٥,٧٥	٢٠,٠٠ -	١١٠,٦٦
٦	٥٥٤٠٠٠٠٠,٠٠		٧٢٥,٠٣			٠,٠٨ -	٠,٢٣ -
Σ							



تابع جدول ( ١٥ )

القطعة	الزاوية المصححة	الضلع	الطول ( متر )	انحراف دائري	انحراف مختصر	مركبة أفقية ( متر )	مركبة رأسية ( متر )
٥	٥٧٢٩,٥٦' ٠٩,٠٠	٥ — ٥	١٤٠,٦٠	٥٢٤٢ ٤٨ ٢٠,٧٥	→ ٥٦٢ ٤٨ ٢٠,٧٥ غ	١٢٥,٠٦ —	٦٤,٢٦ —
٦	٤٧ ١٤ ٤٤,٢٥	٤ — ٤	٢٣٢,٦٨	١٥ ٣٣ ٣٦,٥	→ ١٥ ٣٣ ٣٦,٥ ق	٦٢,٤٢ +	٢٢٤,١٥ +
٧	١٣٠ ٣٧ ٤٥,٥٠	٥ — ٤	١٥٦,٧٥	٦٤ ٥٥ ٥١,٠٠	→ ٦٤ ٥٥ ٥١,٠٠ ق	١٤١,٩٨ +	٦٦,٤٢ +
٨	١٠٥ ٥٦ ١٥,٥٠	٥ — ٥	٢٤٣,٤٠	١٣٨ ٥٩ ٣٥,٥٠	→ ١٣٨ ٥٩ ٣٥,٥٠ ق	١٥٩,٧١ +	١٨٣,٦٨ —
٩	١٠٠ ٠٧ ١٥,٥٠	٥ — ٥	١٣٤,٦٦	٢١٣ ٥٢ ٢٠,٠٠	→ ٢٣ ٥٢ ٢٠,٠٠ غ	٧٥,٠٥ —	١١١,٨١ —
١٠	١٠١ ٠٧ ٥٠,٢٥	٥ — ٥	١٧٨,٢٠	٢٩٢ ٤٤ ٢٩,٧٥	→ ٢٩٢ ٤٤ ٢٩,٧٥ غ	١٦٤,٣٥ —	٦٨,٨٩ +
Σ	٧٢٠ ٠٠ ٠٠		١٠٨٦,٠٩	$\Delta = \frac{\sum \Delta}{\sum} = \frac{(\Delta_{١} + \Delta_{٢})}{\sum} = \frac{٠,٤٥}{\sum}$		٠,٢٥ —	٠,٢٩ —



تابع جدول ( ١٥ )

المنطقة	الزاوية المصححة	الضلع	الطول (متر)	الخلاف دائري	الخلاف مختصر	مركزية أفقية (متر)	مركزية رأسية (متر)
د	٥٧٦ ٣٣ ١٧,٠٠	د — ١	١٧٨,٢٠	١١٢ ٤٤ ٢٩,٧٥	ح ٥٦٧ ١٥ ٣٠,٢٥	١٦٤,٣٥ +	٦٨,٨٩ -
١	٩١ ١٦ ٢٧,٠٠	١ — ١	١٢٤,٨٣	٢٠١ ٢٨ ٠٢,٧٥	ح ٢١ ٢٨ ٠٢,٧٥	٤٥,٦٨ -	١١٦,١٧
١	١٨٦ ٤٢ ٤٩,٠٠	٢ — ١	١١٩,٩٦	١٩٤ ٤٥ ١٧,٧٥	ح ١٤ ٤٥ ١٣,٧٥	٣٠,٥٥ -	١١٦,٠٠ -
٢	٨٣ ٥٠ ١٩,٠٠	٢ — ٢	١٤٠,٦٦	٢٩٠ ٥٤ ٥٤,٧٥	ش ٢٩ ٠٥ ٥٠,٢٥	١٣١,٣٩ -	٥٠,٢١ +
ب	١٠٠ ٣٤ ٤٩,٠٠	ب — ٧	١١٢,٤٨	١٠ ٢٠ ٠٥,٧٥	ش ١٠ ٢٠ ٠٥,٧٥	٢٠,١٨ +	١١٠,٦٦ +
٧	١٨١ ٠٢ ١٩,٠٠	د — ٧	١٤٢,٠٠	٩ ١٧ ٤٦,٧٥	ش ٩ ١٧ ٤٦,٧٥	٢٢,٩٤ +	١٤٠,١٣ +
Σ	٧٢٠ ٠٠ ٠٠		٨١٨,١٣	$J \Delta = \frac{J \Delta}{\Sigma J} = \frac{0.64}{1} = 0.64$	$J \Delta = \frac{J \Delta}{\Sigma J} = \frac{0.12}{1} = 0.12$	٠,١٥ -	٠,٠٦ -



٧ - لأجراء التصحيح للمركبات لأضلاع الشبكة تم الاستعانة بالكروكي الموضح في شكل ( ٦٤ ) حيث بينت على حدود كل مضلع - وداخل دائرة - مجموع أطوال أضلاع كل حد لأقرب متر ، وتم انشاء جداول مركبات الخطأ داخل كل مضلع وجداول التوزيع على الحدود ، وحسبت معاملات التوزيع في هذه المرة كنسبة مجموع أطوال أضلاع الحد إلى مجموع أطوال أضلاع الحلقة التي تحتوى هذا الحد . فعلى سبيل المثال معامل التوزيع للحد ح في الحلقة د ب ح يساوى :

$$0,19 = \frac{141}{330 + 254 + 141}$$

وبين على الجدول المنشأ على هذا الحد وخارج الحلقة . ويلاحظ أننا عدّدك تسمية المضلعات لكي تتمشى مع المضلع ذات الخطأ الأكبر فالأقل فالأقل وبذا يتم التصحيح بدءاً من الحلقة ا د ح ا ( I ) ثم الحلقة د ب ح د ( II ) ثم الحلقة ا ب د ا ( III ) . ولقد تم توزيع الخطأ بالتالى إلى أن تلاشى . وبينت على كل حد مقادير التصحيحات المحسوبة من واقع جداول التوزيع لمركبات أضلاع هذا الحد .

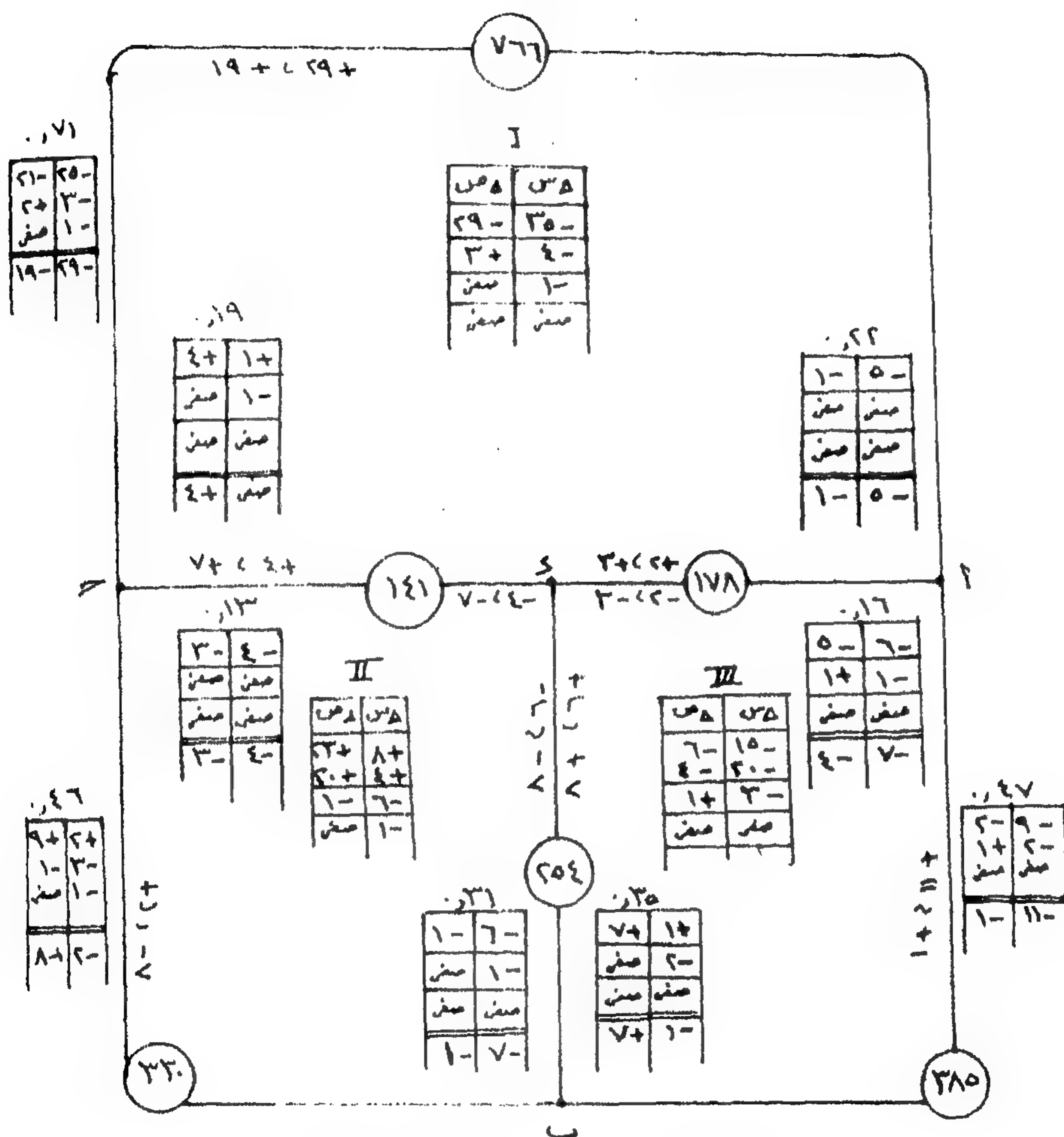
٨ - تحسب التصحيحات لمركبات الأضلاع من واقع التصحيحات الناتجة لمركبات أضلاع كل حد وذلك كنسبة لطول هذا الضلع إلى مجموع أطوال الأضلاع في هذا الحد . فعلى سبيل المثال :

$$\text{التصحيح للمركبة الأفقية للضلع ٦ - ا} = \frac{134,66}{766} \times 29 = 5,1 \text{ سم}$$

٩ - في جدول ( ١٦ ) تم حساب التصحيحات في المركبات الأفقية والرأسية للأضلاع من واقع النتائج المبينة في شكل ( ٦٤ ) ومن ثم تم حساب المركبات الأفقية المصححة والمركبات الرأسية المصححة للأضلاع ثم الأحداثيات المصححة للنقط المختلفة بمعلومية أحداثيات نقطة ( ا ) . ويلاحظ



من الجدول أثناء نحصل على نفس النتائج للأحداثيات المحسوبة للنقط المشتركة  
في حلقات الشبكة مهما تغير مسار الحساب .



شكل (٦٤) تصحيح الخطأ الضمني



جدول ( ١٦ ) حساب المركبات المسجلة للأضلاع  
والأحداثيات المسجلة للنقط

النقطة	الضلع	مركبة أفقية	مركبة رأسية	المركبة الأفقية المسموح لي	المركبة الرأسية المسموح لي	مركبة أفقية	مركبة رأسية	أحداثيات النقط	
								س	م
١	أ	١٦٤,٣٥٠ -	٦٨,٨٩٠ +	٩,٠٢٠ +	٩,٠٣٠ +	١٦٤,٣٣٠ -	٦٨,٩٢٠ -	١٠٠٩,٠٠٠ +	١٠٠٩,٠٠٠ +
٢	ب	١٢٩,٠٩٠ -	٦٤,٧٦٠ -	٩,٠٤٠ +	٩,٠٧٠ +	١٢٩,٠٢٠ -	٦٤,١٩٠ -	٨٣٩,٩٧٠ +	١٠٩٨,٩٢٠ -
٣	ج	٦٦,٤٢٠ +	٢٢٤,١٥٠ -	٩,٠٨٨ +	٩,٠٥٨ +	٢٢٤,٠٠٨ +	٢٢٤,٢٠٨ +	٧١٩,٦٥٠ +	١٠٠٤,٧٣٠ +
٤	د	١٤٦,٩٨٠ +	١٤٦,٤٢٠ +	٩,٠٥٩ +	٩,٠٣٩ +	١٤٦,٠٣٩ +	٦٦,٤٥٩ +	٧٧٣,١٥٨ +	١٧٢٨,٩٣٨
٥	هـ	١٥٩,٧١٠ +	١٨٣,٦٨ -	٩,٠٩٢ +	٩,٠٩٠ +	١٥٩,٨٠٢ +	١٨٣,٦٢٠ -	٩١٩,١٩٧ +	١٢٩٩,٣٩٧ +
٦	و	٧٩,٠٥٠ -	١١٦,٨١٠ -	٩,٠٥١ +	٩,٠٣٣ +	٧٩,٤٩٩ -	١١٦,٧٧٧ -	١٠٧٤,٩٩٩ +	١١١٦,٧٧٧ +
٧	ز	١ - ٦						١٠٠٥,٥٠٠ +	١٠٠٥,٥٠٠ +
	Σ			٩,٣٥٠ +	٩,٢٩٠ +		متر		متر



تابع جدول ( ١٦ )

النقطة	العلامة	أحداثيات النقط		مركبة رأسية محصنة	مركبة أفقية محصنة	الصحيح لى المركبة الرأسية	الصحيح لى المركبة الأفقية	مركبة رأسية	مركبة أفقية	العلامة	النقطة
		م	م								
٥	١	١٠٦٨ ٩٢٠ +	٨٣٥, ٦٧٠ +	٦٨ ٩٢ -	١٦٤, ٣٣٠ +	٥, ٠٣٠ -	٥, ٠٢٠ -	٦٨ ٨٩٠ -	١٦٤, ٣٥٠ +	١	١
١	١	١٠٠٠, ٠٠٠ +	١٠٠٠, ٠٠٠ +	١١٦, ١٦٧ -	٤٥, ٦٤٤ -	٥, ٠٠٣ +	٥, ٠٣٦ +	١١٦, ١٧٠ -	٤٥, ٦٨٠ -	١ - ١	١
٢	٢ - ١	٨٨٣, ٨٣٣ +	٩٥٤, ٣٥٦ +	١١٥, ٩٩٧ -	٣٠, ٥١٦ -	٥, ٠٩٣ +	٥, ٠٣٤ +	١١٦, ٠٠٠ -	٣٠, ٥٥٠ -	٢ - ١	٢
٣	٣ - ٢	٧٦٧, ٨٣٦ +	٩٢٣, ٨٤٠ +	٥٠, ٢١٤ +	١٣٦, ٣٥ -	٥, ٠٠٤ +	٥, ٠٤٠ +	٥٠, ٢١٠ +	١٣٦, ٣٩٠ -	٣ - ٢	٣
٤	٤ - ٣	٨١٨, ٠٠٠ -	٧٩٢, ٤٩٠ +	١١٠, ٦٩٥ +	٢٠, ٢٠٧ +	٥, ٠٣٥ +	٥, ٠٢٧ +	١١٠, ٦٦٠ +	٢٠, ١٨٠ +	٤ - ٣	٤
٥	٥ - ٤	٩٢٨ ٧٤٥ +	٨١٢, ٦٩٧ +	١٤٠, ١٧٥ +	٢٦, ٩٧٣ +	٥, ٠٤٥ +	٥, ٠٣٣ +	١٤٠, ١٣٠ +	٢٦, ٩٤٠ -	٥ - ٤	٥
		١٠٦٨ ٩٢ +	٨٣٥, ٦٧٠ +			٥, ٠٦٠ +	٥, ١٥٠ +	٥, ٠٦٠ -	٥, ١٥٠ -	٥	
				متر	متر					Σ	



تابع جدول ( ١٦ )

النقطة	السلع	مركزية أقيية	مركزية رأسيية	الصحيح ل المركزية الأقيية	الصحيح ل المركزية الرأسيية	مركزية رأسيية	مركزية أقيية	مركزية رأسيية	أحداثيات النقط	
									س	ص
٥	٧ - ٥	١٤٩, ١٣٠ -	٩, ٠٣٣ -	٩, ٠٣٣ -	٩, ٠٤٥ -	٢٩, ٩٧٣	١٤٩, ١٧٥ -	٨٣٥, ٩٧٠ +	١٠٩٨٩٩٢ +	
٧	٧ - ٧	١١٩, ٦٦٠ -	٩, ٠٢٧ -	٩, ٠٣٥ -	٩, ٠٣٥ -	٢٩, ٢٠٧ -	١١٩, ٦٩٥ -	٨١٩, ٦٩٧ +	٩٢٨٧٤٥ +	
٢	٢ - ٢	٩, ٧٣٠ -	٩, ٠٠٨ +	٩, ٠٣٢ -	٩, ٠٣٢ -	١٣١, ١٢٢ -	٩, ٧٦٢ -	٧٩٩, ٤٩٠ +	٨١٨٠٥٠ +	
٢	٢ - ٢	١٩٩, ٤٩٠ +	٩, ٠١٢ +	٩, ٠٤٨ -	٩, ٠٤٨ -	٤٩, ٢٨٢ +	١٩٩, ٤٤٢ -	٦٦١, ٣٦٨ +	٨١٩, ٢٨٨ +	
٢	٥ - ٥	٦٤, ٢٩٠ +	٩, ٠٤٥ -	٩, ٠٧٠ -	٩, ٠٧٠ -	١٢٥, ٠٢٠ +	٦٤, ١٩٠ +	٧١٩, ٦٥٠ +	١٠٠٤, ٧٣٠ -	
٥	٥ - ٥	٩, ٢٣٠ +	٩, ٢٣٠ +	٩, ٢٣٠ -	٩, ٢٣٠ -	صفر	صفر	٨٣٥, ٦٧٠ +	١٠٦٨٩٢ +	
	Σ									



ثانياً — إذا كانت الشبكة مكونة من مجموعة من الترافرسات المقفلة والموصلة :

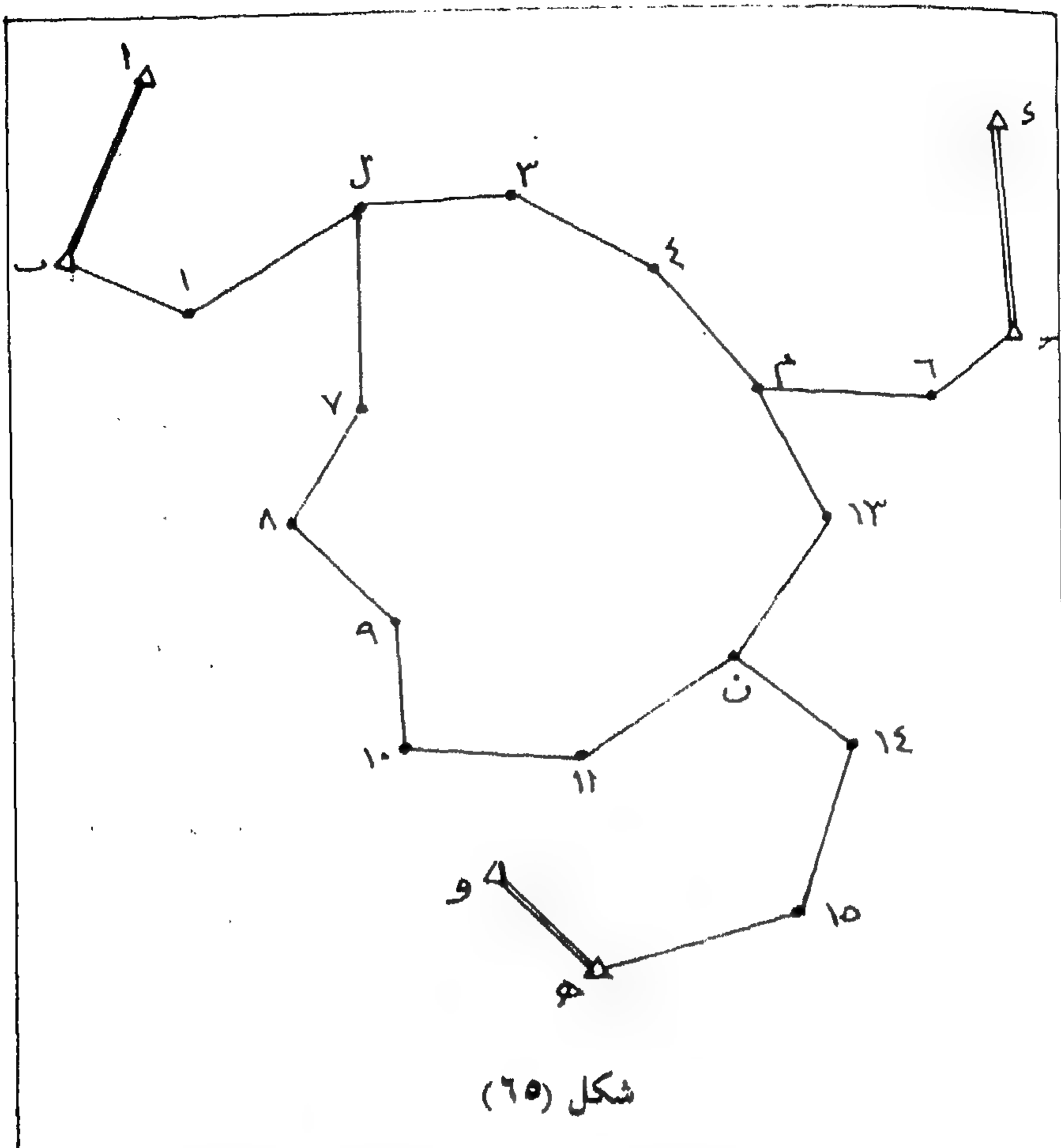
مثال لذلك الشبكة الموضحة في شكل ( ٦٥ ) والتي تتكون من مضلع مقفل يربط على ثلاث إتجاهات ثابتة بواسطة ثلاثة مضلعات موصلة وطريقة التصحيح لا تختلف كثيراً عن طريق التصحيح في حالة شبكات المضلعات المقفلة .

١ — نصحح خطأ القفل الأفق عند نقط الشبكة التي يتحقق فيها ذلك .  
٢ — نحسب خطأ القفل الزاوى للمضلع المقفل ثم للمضلع الموصل الذى يبدأ من ا ب وينتهى عند ح ثم للمضلع الموصل الذى يبدأ من د ح وينتهى عند ه و ، وكقاعدة عامة يكون عدد المضلعات الموصلة المأخوذة في الاعتبار عند التصحيح أقل من عدد خطوط الربط الثابتة بواحد ( يلاحظ في المثال أن هناك مضلع موصل آخر كان يمكن أخذه وهو ب — ٨ — ه إلا أنه حسب القاعدة أخذنا طريقين فقط لأن زوايا هذا المضلع ستكون سبق تصحيحها ) .

٣ — نحسب معاملات التوزيع للمضلع المقفل على أساس أن التوزيع سيكون للحدود ك م ، م ن ، ن ل . أما بالنسبة للمضلعات الموصلة فإن عدد الزوايا المطلوب تصحيحها في المضلع الواحد أزيد من عدد أضلاع المضلع بواحد . وعلى هذا الأساس يزداد عدد أضلاع المضلع الموصل بواحد عند حساب معاملات التوزيع والحد الذى يبدأ أو ينتهى بخط ربط تزداد عدد أضلاعه بمقدار نصف ضلع فمثلاً للمضلع ب ح ( الذى عدد أضلاعه ٧ ) يكون معامل التوزيع للحد ب — ل هو  $\frac{2.5}{8}$  وللحد ك — م هو  $\frac{3}{8}$  وللحد

م — ح هو  $\frac{2.5}{8}$  وبنفس الطريقة تحسب معاملات التوزيع للمضلع ح ه .





شكل (٦٥)

٤ — يمثل ما اتبع في تصحيح الشبكات ذات المضلعات المقفلة يتم حساب التصحيح لزوايا كل حد في هذا النوع من الشبكات — وعند توزيع التصحيح على زوايا حد مثل ب — ل في المضلع الموصل يتم التوزيع بنسبة  $\frac{1}{2} : 1 : 1$  على الزوايا عند ب ، ١ ، ك وللحد ل — م بنسبة  $\frac{1}{2} : 1 : 1$  للزوايا عند ب ، ٤ ، ٣ ، ل — م وللحد م — ح بنسبة  $\frac{1}{2} : 1 : 1$  للزوايا عند م ، ٦ ، ح .

٥ — لتصحيح مركبات الأضلاع نتبع نفس الطريقة المستخدمة في ذات المضلعات المقفلة لكل من المضلعات المقفلة والموصلة في الشبكة .



مثال :

لشبكة الترافرسات المبينة في شكل ( ٦٦ ) كان خطأ القفل الزاوى في أجزائها المختلفة كما هو مبين على الشكل . بين هل هذه الأخطاء الموجودة بهذه المضلعات مسموح بها أم لا إذا كان التيودوليت المستخدم في القياس دقته ٢٠" . عين التصحيحات اللازمة لزاويا شبكة الترافرسات المبينة لأقرب ثانية صحيحة .

الحل :

من الشكل نجد أن خطأ القفل الزاوى للمضلع المقفل ا ح ب هو + ٦٠" والمسموح به في المضلعات المقفلة هو :

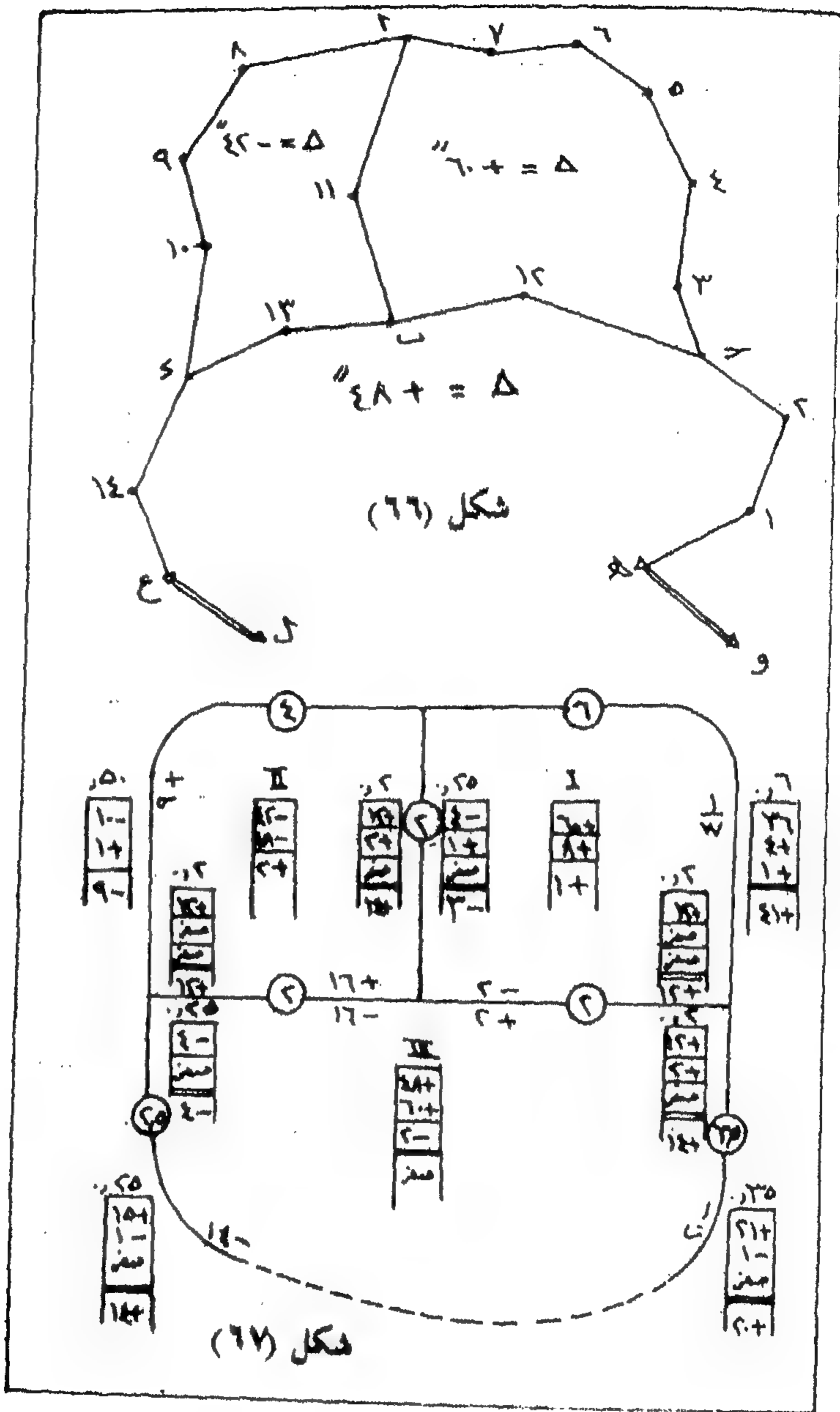
$\pm 1,5$  و  $\sqrt{20 \times 1,5} = \pm 10$   $\pm 94,8$  أى أن خطأ القفل لهذا المضلع مسموح به .

وللمضلع المقفل ب د ا المسموح به هو  $\pm 1,5 \times 20 = \sqrt{8}$   $\pm 84,8$  فى حين أن خطأ القفل المحسوب لهذا المضلع هو - ٤٢" أى مسموحاً به . وللمضلع الموصل وهو ب ح د ع ل المسموح به  $\pm 2$  و  $\sqrt{20 \times 2} = \pm 10$   $\pm 126,5$  فى حين أن القيمة الفعلية لخطأ القفل هى + ٤٨" أى مسموحاً بها .

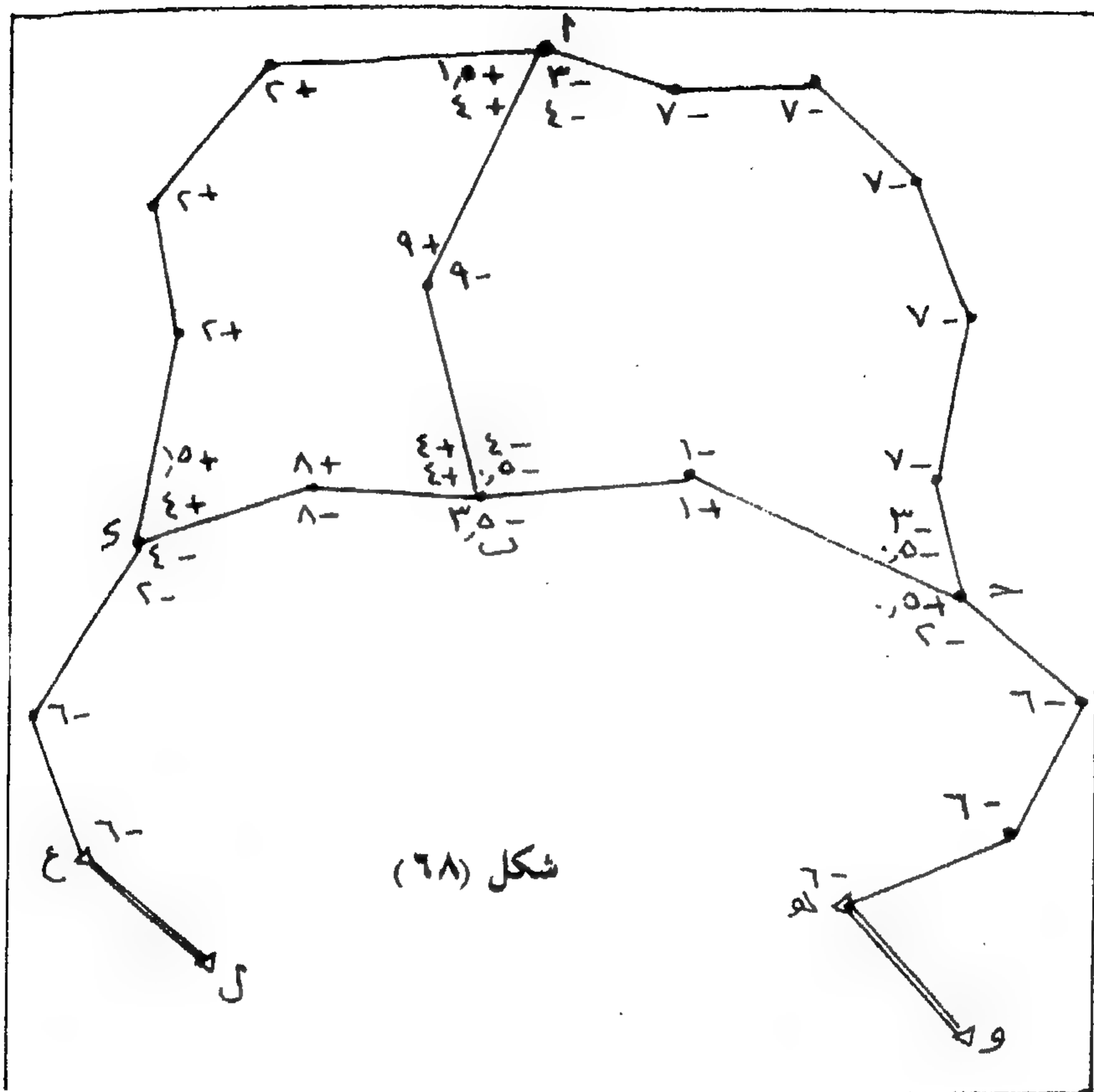
وللحصول على التصحيحات اللازمة للزاويا نستعين بالكروكى الموضح فى شكل ( ٦٧ ) الذى يبين حدود الشبكة وكتب على كل حد عدد الأضلاع مع مراعاة أنه للحد ح ه وللحد ع زيدت عدد الأضلاع لكل منها بمقدار  $\frac{1}{2}$  وعلى هذا الأساس حسبت معاملات التوزيع وبينت على جداول التوزيع

لكل حد كما فى الشكل . وبالإستعانة بجداول الخطأ بدىء بتوزيع الأخطاء من المضلع I ثم III ثم II وإستمررنا فى التوزيع حتى صارت قيمة الخطأ مساوية الصفر . ثم حصلنا على التصحيح اللازم لكل حد . وعلى شكل ( ٦٨ ) بينت









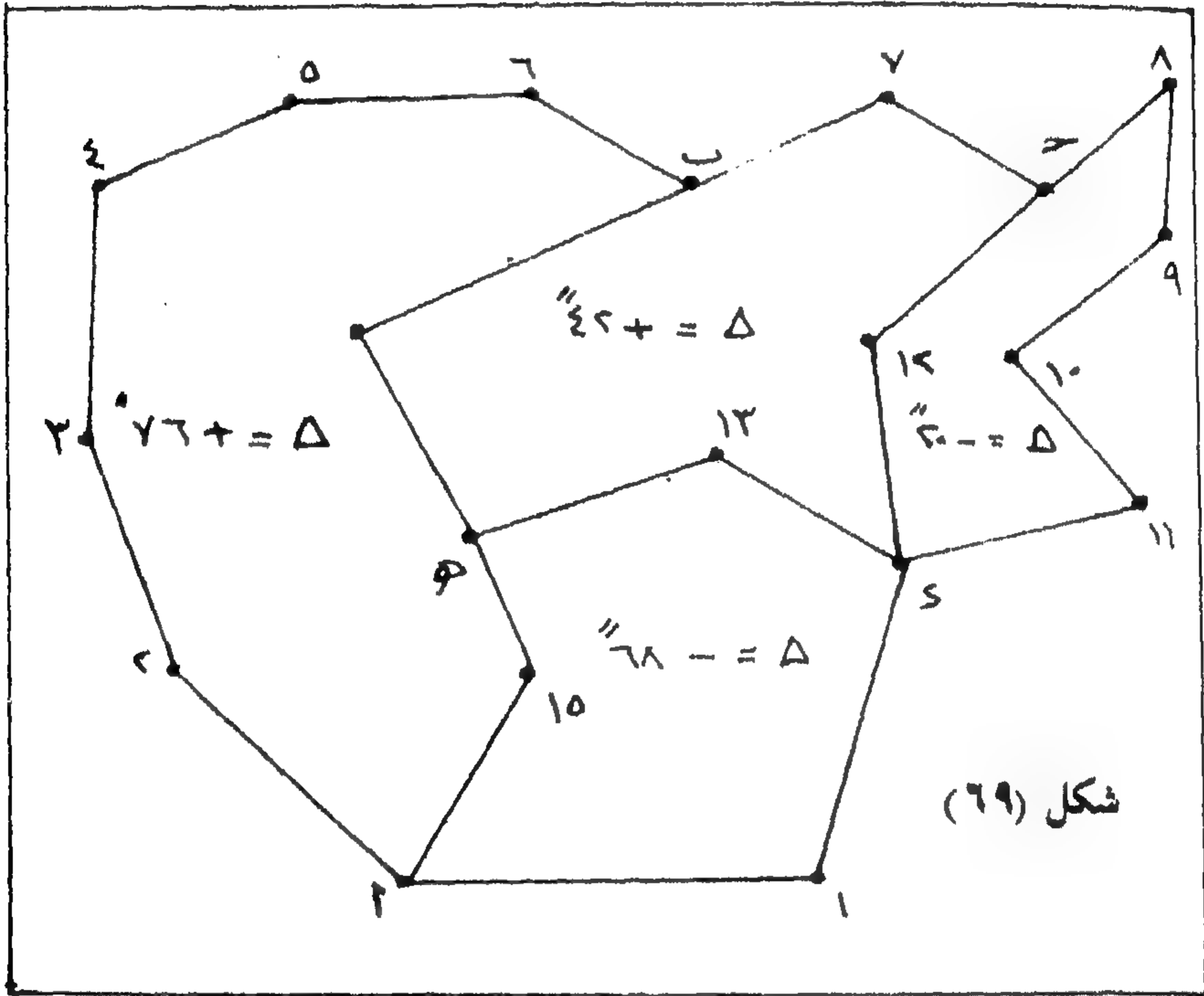
التصحیحات اللازمة لكل زاوية . ويلاحظ أنه للحد  $ع$  في المضلع الموصل  
تم التصحيح للزوايا بنسبة  $1 : 1 : 1 : \frac{1}{2}$  عند  $ع$  ،  $١٤$  ،  $٥$  وبذلك كان

التصحیح لهذه الزوايا هي  $٦-$  ،  $٦-$  ،  $٢-$  بمجموع كلي  $١٤-$  وبالمثل  
للحد  $ح$  التصحيح تم بنسبة  $1 : 1 : 1 : \frac{1}{2}$  عند الزوايا  $١$  ،  $٢$  ،  $ح$  .



## تقريبات

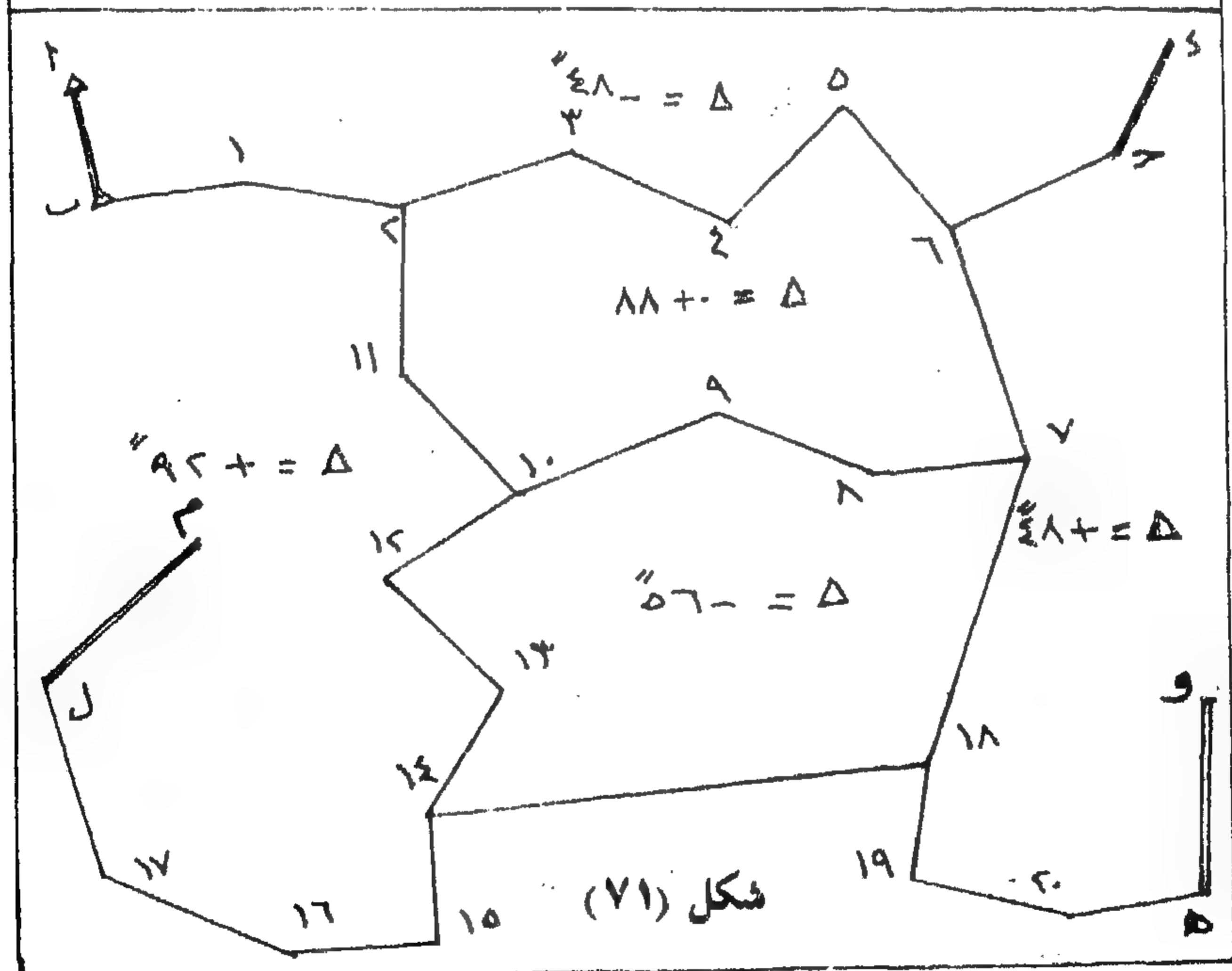
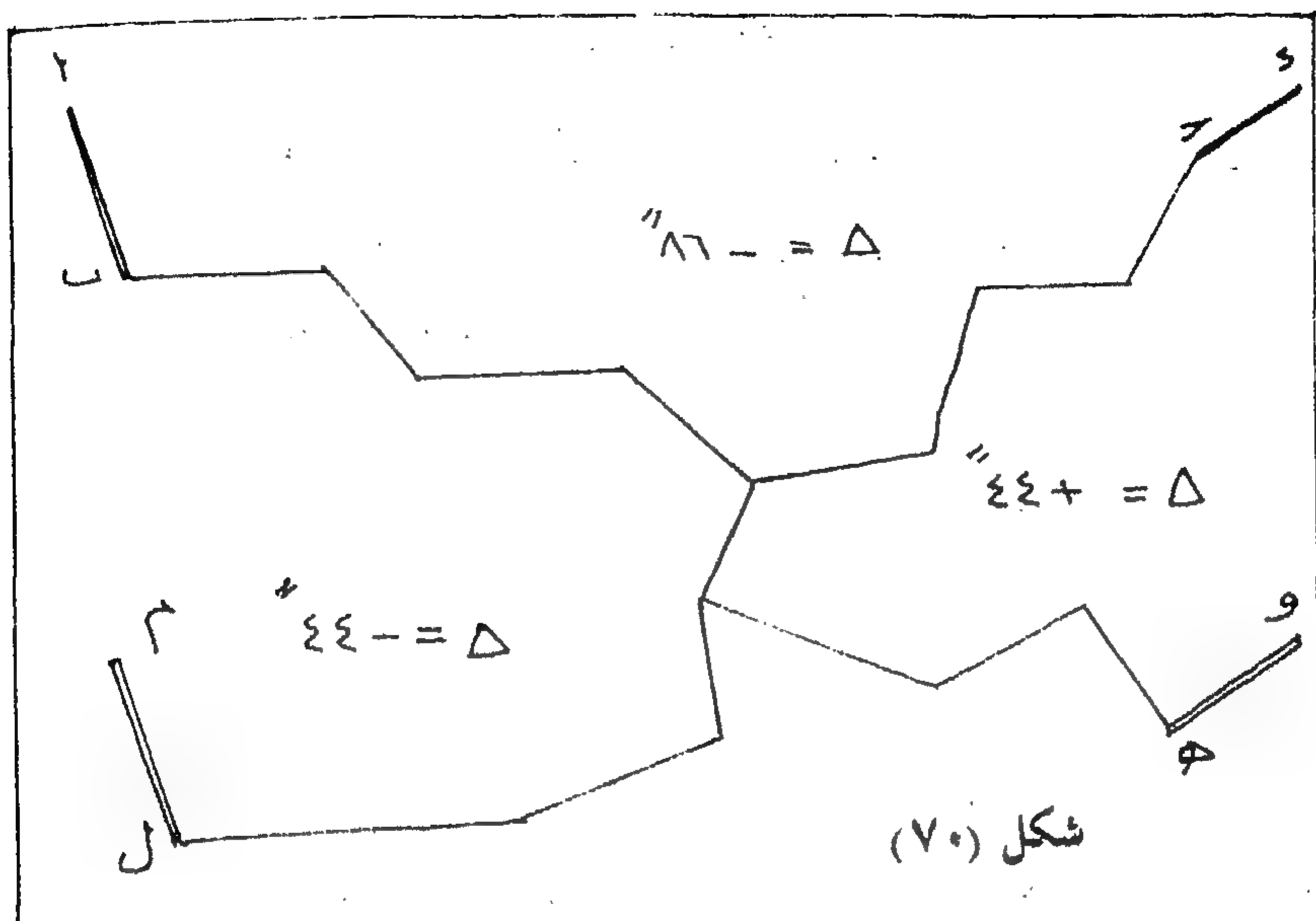
١ - لشبكة الترافرسات المبينة بالشكل ( ٦٩ ) والمعطى داخل كل حلقة فيها مقدار خطأ القفل الزاوى - احسب التصحيحات الزاوية للحدود لأقرب ثانية صحيحة وللزوايا لأقرب ٠,١ " .



٢ - لشبكة الترافرسات المبينة بالشكل ( ٧٠ ) عين قيم التصحيحات الزاوية لأقرب ٠,١ " .

٣ - لشبكة الترافرسات المبينة والمقاسة زواياها بتيودوليت دقته ٢٠ " عين قيم التصحيحات الزاوية للأخطاء المبينة إذا ما كانت مسموحاً بها شكل ( ٧١ ) .

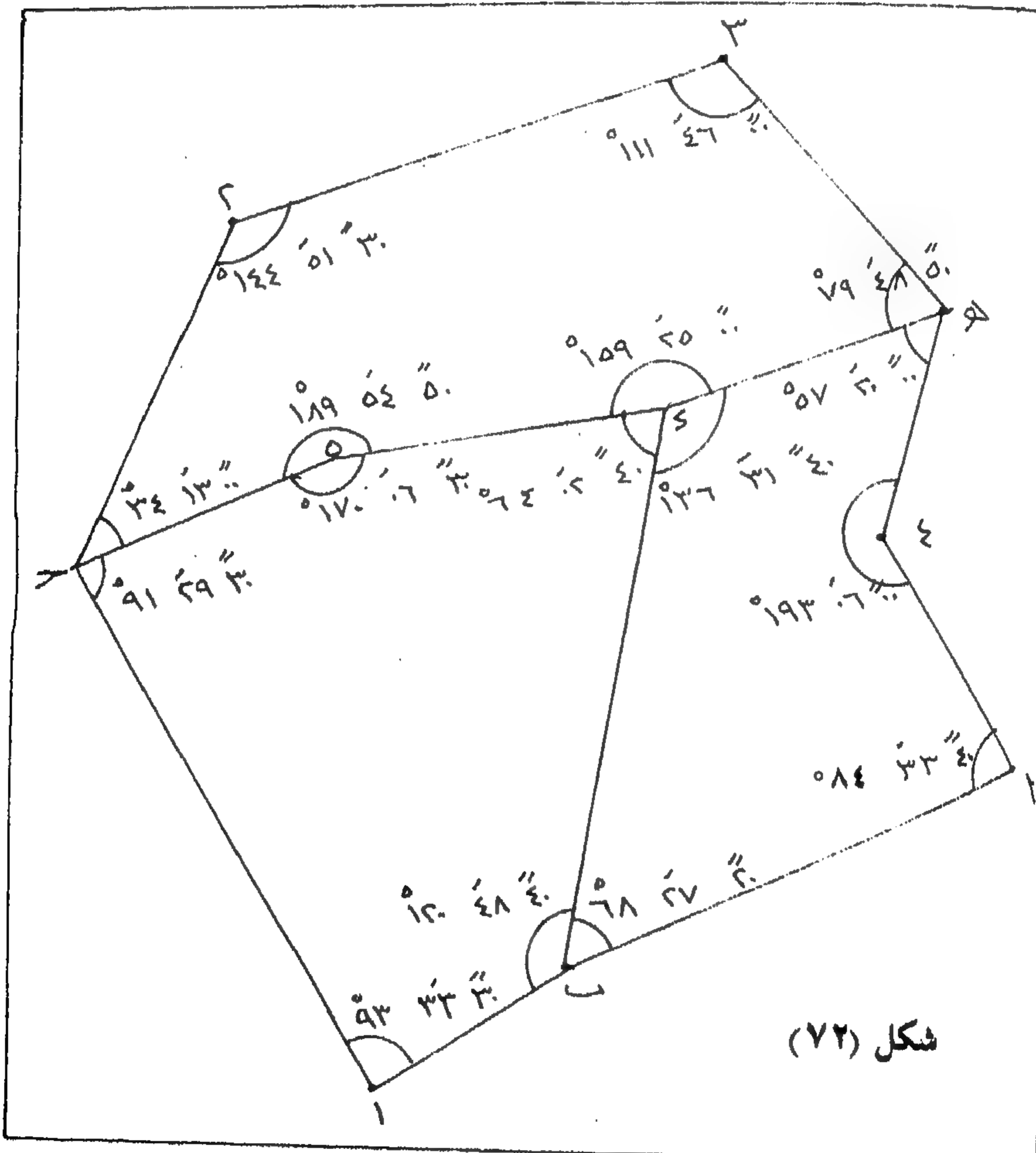






٤ - الكروكي شكل ( ٧٢ ) يوضح قيم الزوايا المقاسة في شبكة التفرسات . بين ما إذا كانت أخطاء القفل الزاوية مسموحاً بها . ثم أحسب الانحرافات المصححة للأضلاع إذا ما كان انحراف الخط ا ب هو ١٤ " ٥٦ ' ٥٢١٢ . وذلك باستخدام :

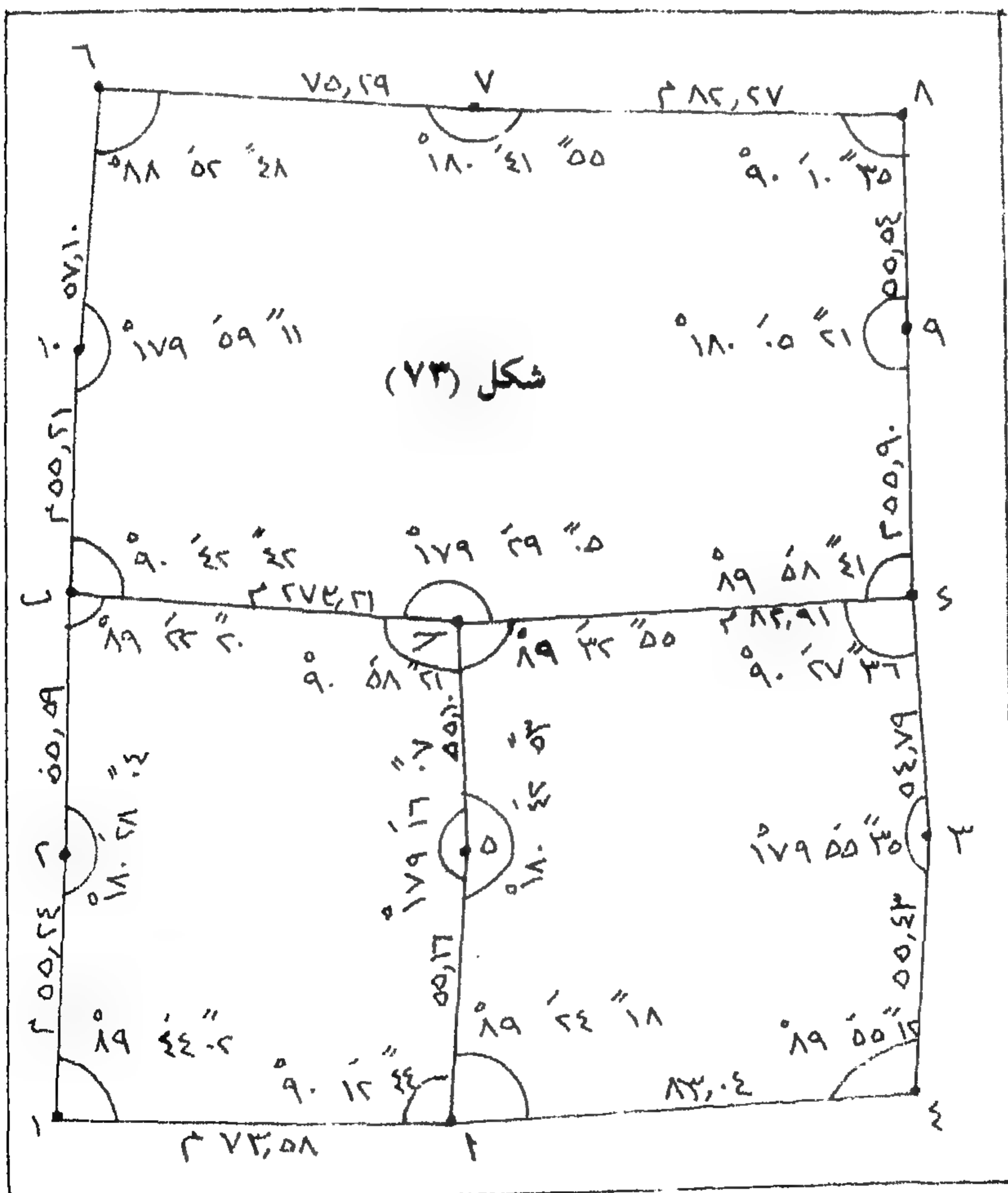
- ا - طريقة المضلعات المقفلة والموصلة .
- ب - طريقة التصحيح المتتالي لبوبوف .





٥ - احسب الأحداثيات الصحيحة لنقط شبكة الترافرسات المبينة بالكروكي  
إذا كانت أحداثيات نقطة أ هي (  $2000,00 +$  ,  $2000,00 +$  ) وانحراف  
الخط أ - ٤ يساوي  $20'' 36'$  وذلك باستخدام :

- أ - طريقة المضلعات المقفلة والموصلة .
  - ب - طريقة التصحيح المتتالي لبوبوف .
- قارن بين النتائج في الحالتين .





## الباب التاسع استخدام الترافرسات في تقسيم الأراضي وتعديل الحدود

في كثير من الأحيان تقابلنا في الحياة العملية مشاكل تقسيم الأراضي ذات الحدود المستقيمة أو تعديل حدود قطع أراضي بحيث توفى شرط أو شروط معينة . والواقع أن حل مثل هذه المشكلات يتطلب الاستعانة بترافرس مقفل أو أكثر يشكل بحيث تكون حدود القطعة هي أضلاع فيه ، وغالباً من تكون الحدود الجديدة للتقسيم أو التعديل هي أرضاء ناقصة في مثل هذه الترافرسات ، وبالتالي يسهل الحصول على المجاهيل بحل مثل هذه الترافرسات وعليه يتم الحصول على حدود التقسيم أو الحد المعدل .

والأمثلة التالية تبين بعض حالات استخدام الترافرسات في حل مشكلات التقسيم للأراضي وتعديل الحدود .

### ١ - حساب المساحة المقتطعة بخط يصل بين نقطتين معلومتين على حدود القطعة

نفرض أن  $AB$  و  $CD$  و  $E$  مضع شكل على الحدود المستقيمة لقطعة الأرض لي شكل ( ٧٤ ) ويراد تقسيمها إلى قسمين بواسطة الخط  $AE$  وقد أجرى تصحيح الأرضاء لترافرس على هذه الحدود وصححت مركبات الأضلاع . والمطلوب حساب المساحة  $ABE$  و  $CD$  ، وطول  $AE$  وانحرافه .

نعتبر أي قسم من القسمين ترافرس مقفل وليكن  $ABE$  و  $CD$  المجهول فيه طول الضلع  $AE$  واتجاهه ونحسب مركبات هذا الضلع وانحرافه كما في الحالة ثالثاً من الأرضاء الناقصة ومن مركبات الأضلاع الترافرس  $ABE$  و  $CD$  يمكن حساب مساحته .



وكتحقيق للعمل نقيس  $s$  من الطبيعة ونقارنه بطوله المحسوب ، كما يوجد تحقيق آخر وهو حساب مساحة الجزء الثانى  $s$  هـ و ل ، يجب أن يكون مجموع المساحتين الجزئيتين يساوى المساحة الكلية .

٢ — إيجاد المساحة المفصولة بخط من أحد أركان القطعة ومعلوم انحرافه :

ا ب ح  $s$  هـ و ل شكل ( ٧٥ ) يبين حدود قطعة أرض معلوم مركبات أضلاعه المصححة .  $s$  س يمثل خط معلوم انحرافه من أحد الأركان  $s$  ليقطع الحد ( ا ل ) فى س .

المطلوب إيجاد مساحة كل من القطعتين المفصولتين بهذا الخط .

لحساب المساحة المفصولة نعتبر ا ب ح  $s$  س ا ترافرس مقفل مجهول فيه طول الضلعين ا س ،  $s$  س . وبحل هذا الترافرس وإيجاد مركباته يمكن حساب مساحة هذا الجزء .

هذا إذا كانت المساحات مرفوعة بطريقة الترافرس ، أما إذا كانت الأرض مرفوعة بأية طريقة أخرى فتقاس الأطوال اللازمة للحساب من الرسم .

ويمكن عمل تحقيق فى الغيط بتوقيع الخط  $s$  س بالانحراف المعلوم ثم إيجاد نقطة ( س ) على الحد ومنه نقيس  $s$  ا ونقارنه بالطول المحسوب .

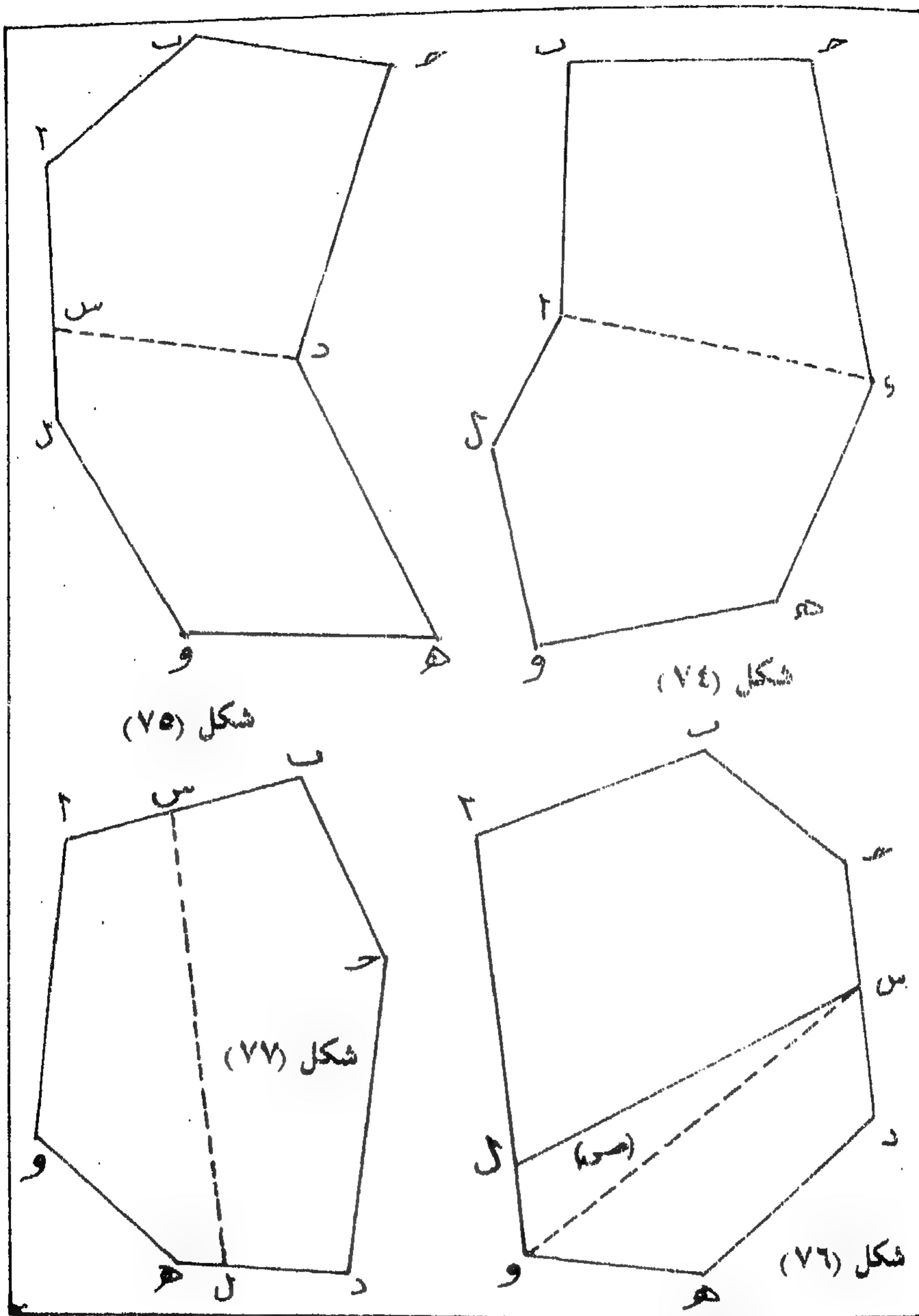
٣ — اقتطاع مساحة معينة بخط مستقيم يمر بنقطة معلومة على حدود القطعة :

ا ب ح  $s$  هـ و حدود قطعة أرض شكل ( ٧٦ ) صحت مركبات أضلاعه وحسبت مساحتها .

س نقطة على الحدود يراد رسم خط منها يفصل مساحة معينة من هذه القطعة. المطلوب الآن هو طول وانحراف هذا الخط وتجري الخطوات التالية :

١ — نرسم خطاً من س إلى الركن الذى نعتقد من اختبار الشكل أنه سيكون أقرب الأركان إلى خط التقسيم .







ب - نحسب مركبات الخط ( ح - س )

$$\text{مركبات ح س} = \text{مركبات ح د} \cdot \frac{\text{ح س}}{\text{ح د}}$$

ح - الآن في الترافرس ا ب ح س و ا كل الأضلاع معلومة ما عدا س و والذي يمكن حساب مركباته وطوله وانحرافه كما سبق في الترافرس ومن ثم يمكن إيجاد مساحة هذا الترافرس ولتكن م<sub>١</sub> .

د - نحسب الفرق بين المساحة المطلوب أقطاها م وبين م<sub>١</sub> ، ونفرض أن م<sub>١</sub> أكبر من م ( الفرق = م<sub>١</sub> - م = ص ) .

نفرض أن الوضع الصحيح لخط التقسيم هو س ل .

$$\text{ص} = \text{مساحة المثلث س و ل} .$$

في هذا المثلث الزاوية س و ل معلومة = الفرق بين أنحراف ل و ، و س كما أن طول ( س و ) قد حسب في أول المسألة .

$$\text{المساحة ص} = \frac{1}{2} ( \text{و ل} ) \cdot ( \text{س و} ) \text{ جا س و ل}$$

$$\text{طول الضلع و ل} = \frac{\text{ص} \cdot 2}{\text{طول س و} \cdot \text{جا س و ل}}$$

(٦٣) ....

وفي الغيظ يوقع الخط س ل من س في الاتجاه المعين وبالطول المحسوب ،  
وتتحقق إذا كانت ل تقع في الطبيعة على ا و أم لا وكذلك إذا كانت المسافة  
و ل تتفق مع المسافة المحسوبة .



٤ - اقتطاع مساحة معينة بخط ذي انحراف معين :

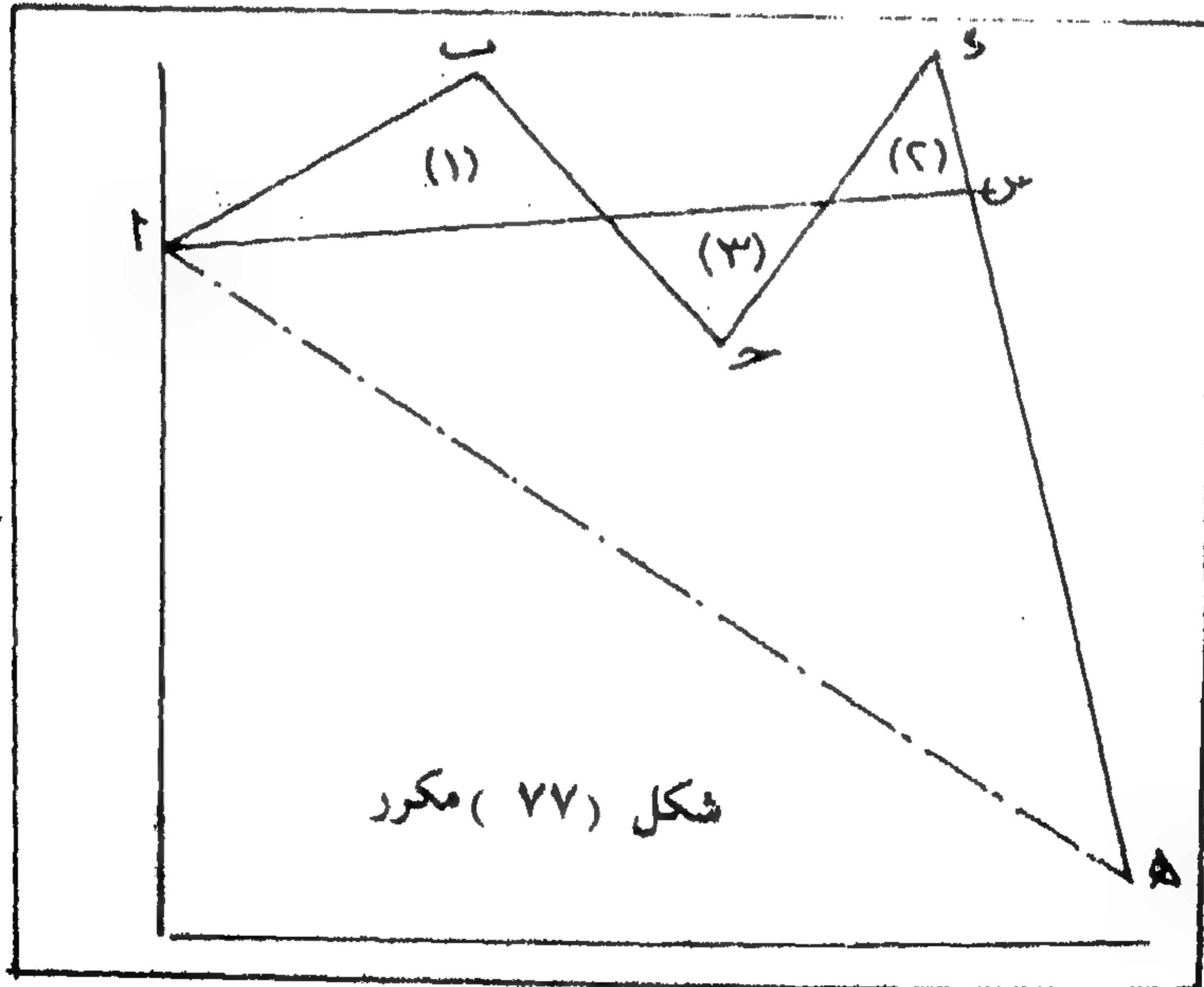
نفرض أن القطعة هي  $ا ب ح د ه$  و  $ا$  نريد إقتطاع مساحة معينة ص بخط  $س ل$  ذي إنحراف معلوم . المطلوب إيجاد طول  $س ل$  ،  $ل ه$  شكل ( ٧٧ ) .  
١ - نوجد مساحة المضلع  $ا ب ح د ه$  و بأي طريقة من الطرق المعروفة .

٢ - نعتبر  $ا س ل ه$  و ترافرس مقفل مجهول فيه أطوال  $ا س$  ،  $س ل$  ،  $ل ه$  . وبذا نحتاج إلى معادلة ثالثة وهذه هي المعادلة التي يمكن تكوينها بمعرفة المساحة المعلومة للجزء ومركبات الأضلاع .

٥ - تعديل الحدود :

المثال الآتي يوضح الطريقة المتبعة في تعديل الحدود .

المعلومات التالية رصدت للحد المتعرج  $ا ب ح د ه$  الذي يفصل بين قطعتي أرض شكل ( ٧٧ ) مكرر .





المسافة الأفقية ( متر )	الأنحراف	الخط
٢٥٣,٢	١٤ ' ٥٨٣	ا ب
٤٢٦,٤	٣٠ ' ٥٤٦	ب ح
٥٤٣,٨	١٣ ' ٥٣٦	ح د
١٢٦٠,٢	٥٤ ' ٥٢٣	د هـ

والمطلوب تعديل الحد ا ب ح د هـ إلى الحد ا س هـ حيث ا س خط مستقيم ، س تقع على الحد هـ ، وذلك بدون أن تتغير المساحات الأصلية أى أن المساحتين (١) + (٢) = المساحة (٣) .

خطوات الحل تكون كالآتي :

- ١ - تحسب مركبات الأضلاع المعلومة كما هو مبين في جدول ( ١٧ ) .
  - ٢ - تحسب الأحداثيات للنقط بأعتبار ( ا ) كنقطة أصل .
  - ٣ - توجد مساحة الشكل ا ب ح د هـ ا بمعلومية أحداثيات النقطا ، ب ، ح ، د ، هـ بطريقة الأحداثيات كما هو مبين بجدول ( ١٨ ) .
- وبحساب المساحة بهذه الطريقة نجد أنها تساوى ٤٢٨٩٥٤,٤ متر مربع .

جدول ( ١٧ ) حساب مركبات الأضلاع

الضلع	الطول (متر) (١)	الأنحراف المختصر (٢)	مركبة أفقية (٣)	مركبة رأسية (٤)
ا ب	٢٥٢,٥	١٤ ' ٥٨٣	٢٥١,٤٤ +	٢٩,٨٣ +
ب ح	٤٢٦,٤	٣٠ ' ٥٤٦	٣٠٩,٣٠ +	٢٩٣,٥١ -
ح د	٥٤٣,٨	١٣ ' ٥٣٦	٣٠٢,٣٠ +	٤٣٨,٧٤ +
د هـ	١٢٦٠,٢	٥٤ ' ٥٢٣	٥١٠,٥٧ +	١١٥٢,١٥ -



جدول ( ١٨ ) حساب أحداتيات النقط

رأسى	أفقى	
صفر ٢٩,٨٣ +	صفر ٢٥١,٤٤ +	ا ب
٢٩,٨٣ + ٢٩٣,٥١ -	٢٥١,٤٤ + ٣٠٩,٣٠ +	ب ج
٢٦٣,٦٨ - ٤٣٨,٧٤ +	٥٦٠,٧٤ + ٣٢١,٣٠ +	ج د
١٧٥,٠٦ + ١١٥٢,١٥ -	٨٨٢,٠٤ + ٥١٠,٥٧ +	د هـ
٩٧٧,٠٩ -	١٣٩٢,٥١ +	هـ

٤ — من الأحداتيات المحسوبة نحسب الزاوية ا هـ و طول هـ ا حيث :

$$\text{انحراف هـ ا} = \text{ظا-ا} = \frac{١٣٩٢,٦١ - ٩٧٧,٠٩ +}{٩٧٧,٠٩ +} = ٤٤'' ٥٦' ٥٥٤ غ$$

$$= ١٦'' ٠٣' ٥٣٠٥$$

$$\text{طول هـ ا} = ١٣٩٢,٥١ \text{ قنا } ٤٤'' ٥٦' ٥٥٤$$

$$= ١٧٠١,٢ \text{ متر}$$

$$\text{انحراف هـ د} = ٠٠'' ٥٤' ٥٢٣ غ = ٠٠'' ٠٦' ٥٣٣٦$$

$$\text{الزاوية ا هـ د} = ٠٠'' ٠٦' ٥٣٣٦ - ١٦'' ٠٣' ٥٣٠٥$$

$$= ٤٤'' ٠٢' ٥٣١$$



هـ — لإيجاد طول هـ سن بحيث أن مساحة المثلث ا س هـ تساوى  
 ٤٢٨٩٥٤,٤ م<sup>٢</sup> .

مساحة المثلث ا س هـ =  $\frac{1}{2}$  هـ س . هـ ا . جا ا هـ و

$$\text{هـ س} = \frac{2 \text{ مساحة المثلث ا س هـ}}{\text{هـ ا جا ا هـ و}}$$

$$= \frac{٤٢٨٩٥٤,٤ \times 2}{١٧٠١,٢ \text{ جا } ٤٤'' \cdot ٠,٢} = ٥٣١$$

$$= ٩٧٧,٨٤ \text{ متر}$$



## الباب العاشر ترافرسات المشروعات

تقسم المشروعات طبقاً للنظام المتبع في مصلحة المساحة إلى ثلاثة أنواع رئيسية :

- ١ — مشروعات في أرض بها شبكات المثلثات كاملة بالمنطقة .
- ٢ — مشروعات في أرض ترافرسات الغيط بها كاملة ومصحة .
- ٣ — مشروعات في أرض لا يوجد بها ترافرسات أو شبكات مثلثات تربط عليها .

### النوع الأول

مشروعات في أرض لا يوجد بها نقط ترافرس سابقة ولكن شبكات المثلثات كاملة بالمنطقة .

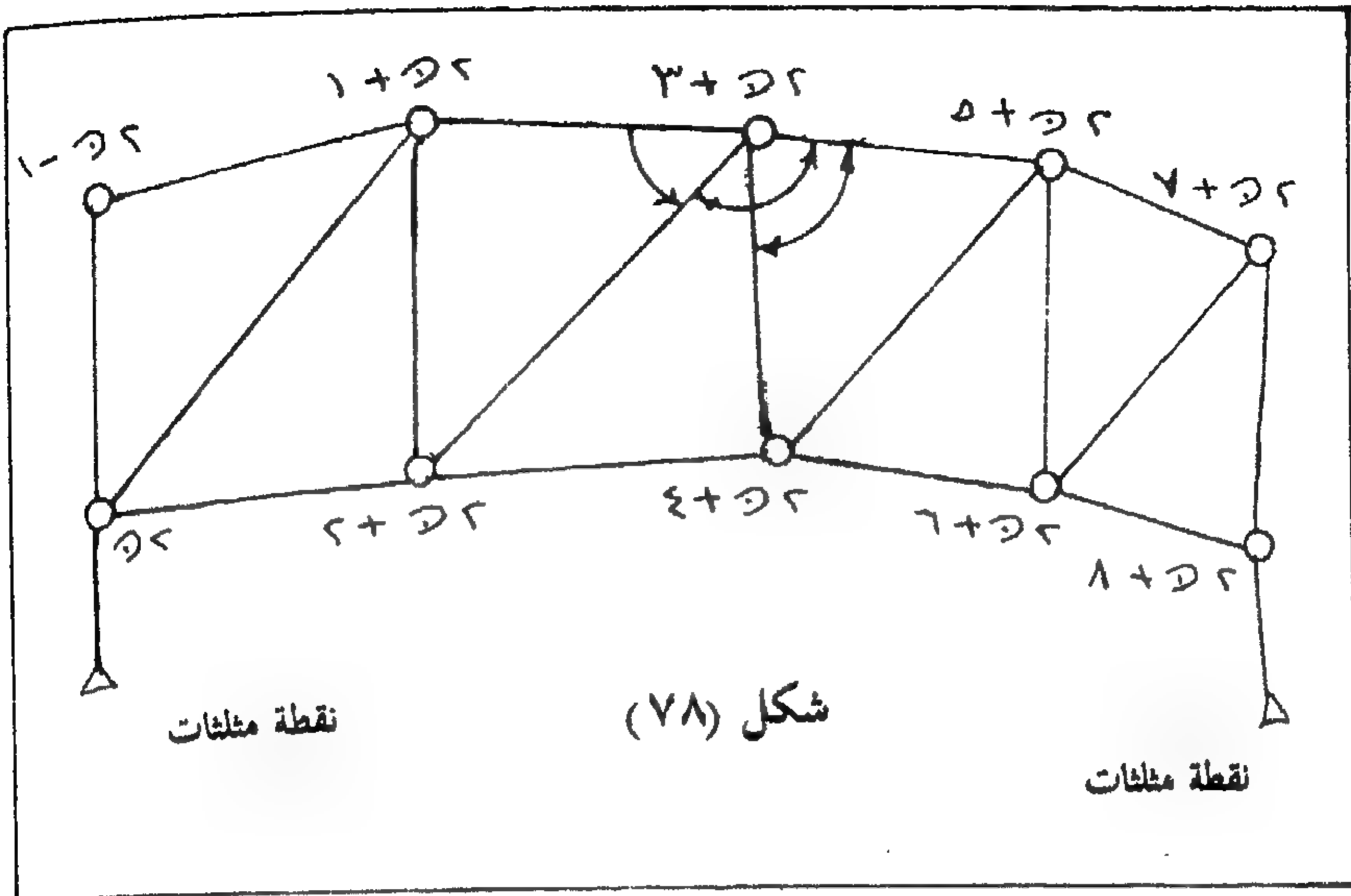
تُحسب كترافرس الأراضي الزراعية مع استعمال نفس حدود الأخطاء المسموح بها . والشكل المعتاد للترافرس عبارة عن خطوط متوازية تقريباً بروابط عرضية كل ٢٠٠ متر أو أقل .

وطريقة حساب الترافرس تعتمد على عرض المشروع وتوجد لذلك حالتان :

أولاً — مشروعات عرضها أقل من ٤٠ متر :

حيث أننا لا يمكننا الحصول على دقة كافية بالرصد على نظرات أقل من ٥٠ متراً فيرصد أحد أقطار الشكل الرباعي المكون من زوجين من النقط المتقابلة . والأرصاد في الغيط سوف تحتوى على الزوايا الآتية : شكل ( ٧٨ ) .





$$\left. \begin{array}{l} 2+2 \text{ إلى } 3+2 \\ 2+2 \text{ إلى } 4+2 \\ 2+2 \text{ إلى } 5+2 \end{array} \right\} \text{عند } 2+2$$

وعدد زوايا الجهة المقابلة

$$\left. \begin{array}{l} 2+2 \text{ إلى } 3+2 \\ 2+2 \text{ إلى } 4+2 \\ 2+2 \text{ إلى } 5+2 \end{array} \right\} \text{عند } 3+2$$

حساب الانحرافات :

١ - نجمع كل الزوايا الداخلية لكل الأشكال الرباعية ذات الطابع ٢ + ٢  
٢ ، ٢ + ٢ ، ٢ + ٢ ، ٢ + ٢ .

فيجب أن يكون مجموعها "٠٠" '٠٠ ٥٥٤٠ بخطأ مسموح به  
٢٠ "٢٠ '٢٠ .

٢ - يوزع الخطأ على الأربع زوايا في كل شكل رباعي بالتساوي .



٣ - نوجد الانحرافات مبتدئين بانحراف الخط الثابت ( إلى اليسار ) ثم نحسب انحرافات الخطوط ٥٢ ، ٥٢ + ٢ ، .... وننقل على انحراف الخط الثابت إلى اليمين في الشكل بإستعمال الزوايا المصححة وتصحيح الزوايا والانحرافات كما في الترافرس الموصل ونسمى هذا ( الترافرس الأساسي ) .

٤ - نحسب انحرافات الخط ٥٢ + ٧ ، .... ، ٢ - ٥ ١ مبتدئين من اليمين مستعملين الزوايا المصححة من الأشكال الرباعية مع عمل تصحيحات أخرى عليها ( نفس التصحيحات التي أجريت على الترافرس الأساسي نتيجة الربط على الخطوط الثابتة ) ، وذلك حتى لا نخل بالشرط في الخطوة (١) ونسمى هذا بالمضلع الفرعى . ويجب حينئذ أن يقفل المضلع الفرعى بدون خطأ نتيجة للتصحيحات التي عملت .

٥ - انحرافات الروابط العرضية ٥٢ + ١ إلى ٢ + ٥٢ الخ ...  
نحسب كل منها مرتين ، مرة من الترافرس الأساسي ٥٢ ، ٥٢ + ٢ ...  
ومرة من الترافرس الفرعى ٥٢ - ١ ، ٥٢ + ١ ...

٦ - الفرق المسموح به بين انحرافى الخط  $\pm 3'$

ويؤخذ المتوسط إذا كان الفرق مسموحاً به .

حساب الأحداثيات :

١ - نحسب إحداثيات كل نقط المضلع الأساسي ٥٢ ، ٥٢ + ٢ ، ٥٢ + ٤ ، .... وتصحيح كالترافرس الموصل بالربط على إحداثيات النقط الثابتة عند كل طرف .

٢ - نبتدىء من الشكل الرباعى على اليمين ونحسب أحداثيات نقطه ٥٢ + ٥ ، ٥٢ + ٧ كترافرس فرعى .

ثم ٥٢ + ٤ إلى ٥٢ + ٣ وننقل على ٥٢ + ٥ .

ثم ٥٢ + ٢ إلى ٥٢ + ١ وننقل على ٥٢ + ٣ وهكذا .



وخطاً القفل المسموح به = ٢٥ سم .

وإذا كان خطاً القفل مسموحاً به فلا تعمل تصحيحات الأحدثيات للنقط  
المتوسطة ( مثل ٥٢ + ٣ ، ٥٢ + ١ ) .

ثانياً — المشروعات التى يزيد عرضها عن ٤٠ متراً :

فى هذه الحالة لا نحتاج لرصد الأقطار كما سبق ، وإنما يرصد فقط عدد  
كاف من الخطوط العرضية على فترات على ألا تزيد عن ٧٠٠ متر .

يحسب جانب واحد فقط كترافرس أساسى موصل من نقطة مثلثات إلى  
نقطة مثلثات أخرى ثم تقفل كل الخطوط الأخرى كترافرسات فرعية على  
الترافرس الأساسى .

### النوع الثانى

مشروعات فى أرض ترافرسات الغيط بها كاملة ومصححة :

يتبع فى هذا النوع كل الطرق المستعملة فى النوع الأول من كافة النواحي  
مع التأكد مما يلى :

١ — الربط على ترافرس الغيط من آن لآخر ، وأقصى مسافة بين الربطين  
فى إتجاه المشروع لا يزيد عن ٨٠٠ متر .

٢ — إذا وقعت أى نقطة من المشروع فى حدود عشرة أمتار من نقط  
ترافرس الغيط يجب ربطها بالترافرس بأرصاد مباشرة .

### النوع الثالث

مشروعات فى أرض لا يوجد بها ترافرسات أو شبكات مثلثات تربط عليها :

يحسب المشروع مستقلاً بنفسه مع أخذ نقطة أصل خاصة به ويعطى أى  
خط فيه انحراف اختيارى ، وعادة يكون " ٠٠ ' ٠٠ " ٥٠٠ ثم يحسب



الترافرس الخارجى المقفل كالمعتاد . أما الخطوط المتوسطة الداخلية فتحسب كما سبق .

حساب الأحداثيات : تفرض إحداثيات النقطة الأولى وتحسب إحداثيات باقى النقط . ثم يعاد حساب المشروع كله عند ربط المنطقة بترافرسات الغيط .

ملحوظة هامة : عند عمل ترافرسات غيط فى منطقة تحتوى مشروع من النوع الأول أو الثالث يجب ربط المشروع بالترافرسات فى أماكن متعددة ويربط أيضاً جيداً بكل نقط المثلثات فى هذه المنطقة .

### تعيين النقط بالتقاطع

فى بعض ترافرسات الغيط توجد بعض النقط التى يصعب أو يستحيل إحتلالها بالتيودوليت . هذه النقط تعين بالتقاطع من نقط الترافرس الأساسى وغالباً ما تكون هذه النقط بعيدة ويصعب قياس بعدها عن نقط الترافرس .

وتعين هذه النقط بالتقاطع بإحدى طريقتين :

#### الطريقة الأولى :

١ — نقيس الزوايا ( هـ ، هـ ) من نقطتين من نقط الترافرس وبعدها عن إحدى النقطتين شكل ( ٧٩ ) .

٢ — نحسب أطوال أضلاع المثلث متخذين ضلع الترافرس أ ب كقاعدة .

٣ — نقارن الطول أ م المحسوب بالطول ( ل ) المقاس ، فيجب ألا يزيد الفرق بينهما عن ٣٠ سنتيمتر .

ولحساب إحداثيات م يؤخذ أ ب م كترافرس عادى ثانوى مستعملين الطول المقاس والطول م ب المحسوب والزاوية أ ب م = ١٨٠° — هـ — هـ . وبذا يمكن حساب انحرافات الأضلاع من معلومية انحراف أ ب ثم نستمر كأى مضلع مقفل عادى .



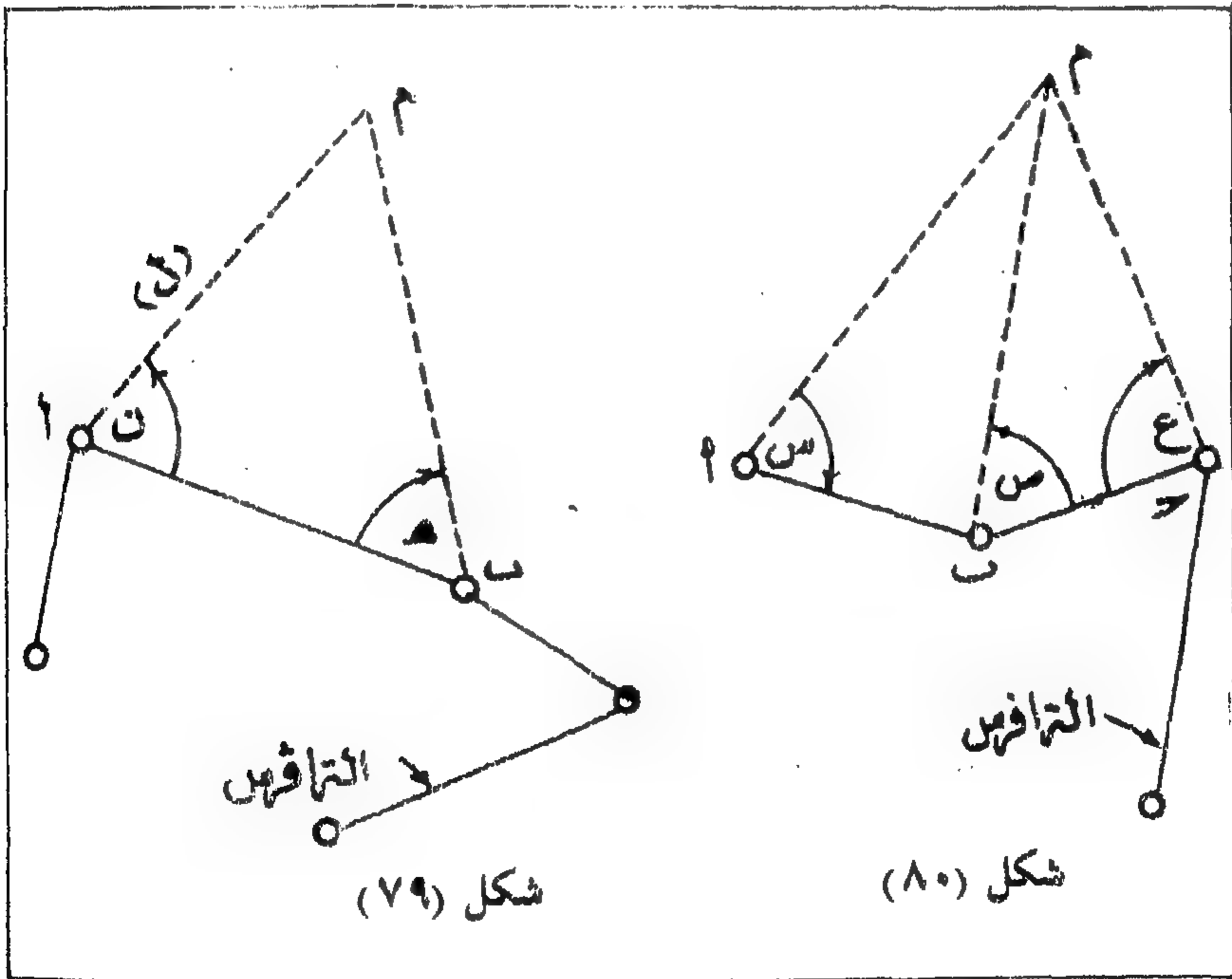
## الطريقة الثانية

١ — قياس الزوايا س ، ص ، ح من ثلاث نقط من نقط الترافرس شكل ( ٨٠ ) .

٢ — يحل كل من المثلثين ا ب م ، ب ح م بمعلومية ا ب ، ب ح ، والزوايا س ، ص ، ح .

٣ — نحسب طول م ب من كل من المثلثين فيجب ألا يزيد الفرق بينهما عن ٣٠ سنتيمتر ثم يؤخذ المتوسط ، وهذا المتوسط للضلع المشترك ، والأطوال المحسوبة للضلعين ا م . م ح تستعمل كما لو كانت مقاسة مباشرة من الغيط .

٤ — نحسب إحداثيات م من كل من المثلثين ا ب م ، ب ح م ونأخذ المتوسط .





## الباب الحادى عشر

### ترافرسات المساحة التفصيلية

### المدن والأرياف

الترافرس هو حلقة إلتصال بين أعمال المثلثات وبين أعمال المساحة التفريديية .

غراض ترافرس المساحة التفصيلية :

١ — إنشاء عدد كاف من علامات المساحة فى الأماكن المناسبة لقياس الزوايا والأبعاد بواسطة التيودوليت والشريط لتعيين حدود الأحواض والأملاك والمساكن والمنافع بأنواعها .

٢ — تثبيت علامات المساحة من أى نوع بطريقة مضبوطة ( الربط بنقط المثلثات ) .

أنواع الترافرس :

١ — ترافرس المدن :

وهو تثبيت النقط التى توضع فى المدن والبنادر المختلفة والقرى الكبيرة لتساعد على تكوين الخرائط التفصيلية للمدن التى تعمل بمقياس ١ : ٢٠٠ . وهو أكثر أنواع الترافرس دقة .

٢ — ترافرس المنافع :

وهو تثبيت العلامات التى توضع للمنافع العمومية كمجارى المياه من ترع ومصارف والطرق الزراعية وجسور السكك الحديدية وجسور النيل وكذا الجبانات والبرك والمستنقعات وتلال الأتربة وغيرها لتساعد على تكوين لوح خاصة بكل مشروع .



### ٣ - ترافرس الأرياف ( الحياض )

وهو تثبيت العلامات التي توضع لحدود الأحواض والتفاصيل الداخلية والمعالم الطبوغرافية لتساعد على تكوين خرائط المساحة التفصيلية التي تعمل بمقياس ١ : ١٠٠٠ .

### ١ - ترافرس الغيط

قبل البدء في أعمال ترافرس أى مركز يجب البحث عن جميع نقط مثلثات ذلك المركز وتحديد المفقود منها بمعرفة مهندس المثلثات ، ويجب أن يكون هناك عدد كاف من نقط المثلثات لتكوين شبكة مثالية يمكن استعاضة كل ضلع من أضلاعها بنقط من الترافرس لا يزيد طوله عن أربعة كيلو مترات مع التعاريح ولذا يلاحظ أن أكبر طول لضلع المثلثات لا يزيد طوله عن ٢,٥ كيلو متر ، وإذا لم توجد نقط مثلثات كافية لهذا الشرط وجب وضع نقطة مثلثات درجة رابعة .

بعد انتهاء المركز من أعمال المثلثات ترسل خرائط كدستورية ( تفصيلية ) من المساحة التفصيلية للمساحة الطبوغرافية القائمة بأعمال الترافرس مبيناً عليها علامات التحديد التي وضعت على الطبيعة للأحواض والمعالم الطبوغرافية . والغرض من هذه الخرائط هو الإرشاد وترتيب الأعمال عليها .

يقوم المكتب الفنى بالمساحة الطبوغرافية ، عندما ترد الخرائط الكدستورية إليه بتجهيز مجموعة بمقياس ١ : ١٠٠,٠٠٠ لهذا المركز أو المراكز مبيناً عليها جميع نقط المثلثات بجميع درجاتها مع كرات وصف لنقط المثلثات للأستدلال على مواقعها وكذا جميع كروكيات المشروعات القديمة السابق رصدها وكرات وصف نقطها وواقعة في هذا المركز أو المراكز .

### سير العمل :

يقسم المركز إلى مناطق على المجموعة ١ : ١٠٠,٠٠٠ بالنسبة لنقط المثلثات .



١ - المنطقة هي كل مسطح محصور داخل مثلث رؤوسه ثلاث نقط مثلثات من أى درجة ومبينة على المجموعة بشرط ألا يزيد ضلع المثلث المحدد للمنطقة عن ٢,٥ كيلو متر . ولا تعد المنطقة كاملة إذا كان الترافرس فيها مرتبطاً بأقل من ثلاث نقط مثلثات . ترقيم المناطق على المجموعة بأرقام سلسلة من ١ حتى نهاية المركز شكل ( ٨١ ) . ويبدأ العمل فى أى منطقة من المناطق السابق ترتيبها على المجموعة . يبحث أولاً عن الثلاث نقط مثلثات التى تحدت بها هذه المنطقة ثم توزع عليها شواخص خشبية من طول أربعة أمتار ( إذا كانت النقطة فوق سطح منزل ) أو خمسة أمتار إذا كانت النقطة على الأرض .

٢ - إذا كانت نقطة المثلثات على الأرض يوضع الشاخص فى وسط الماسورة التى هى علامة نقطة المثلثات وضعاً رأسياً ويعمل له ( التحجيش ) اللازم بواسطة القش وشظايا الخشب الموجودة بالغيط .

٣ - إذا كانت نقطة المثلثات على سطح منزل فيوضع الشاخص فوق المسار الموجود فى محور العلامة السطحية الخشبية ثم يثبت الشاخص رأسياً بواسطة سلك رفيع من ثلاث جهات على الأقل .

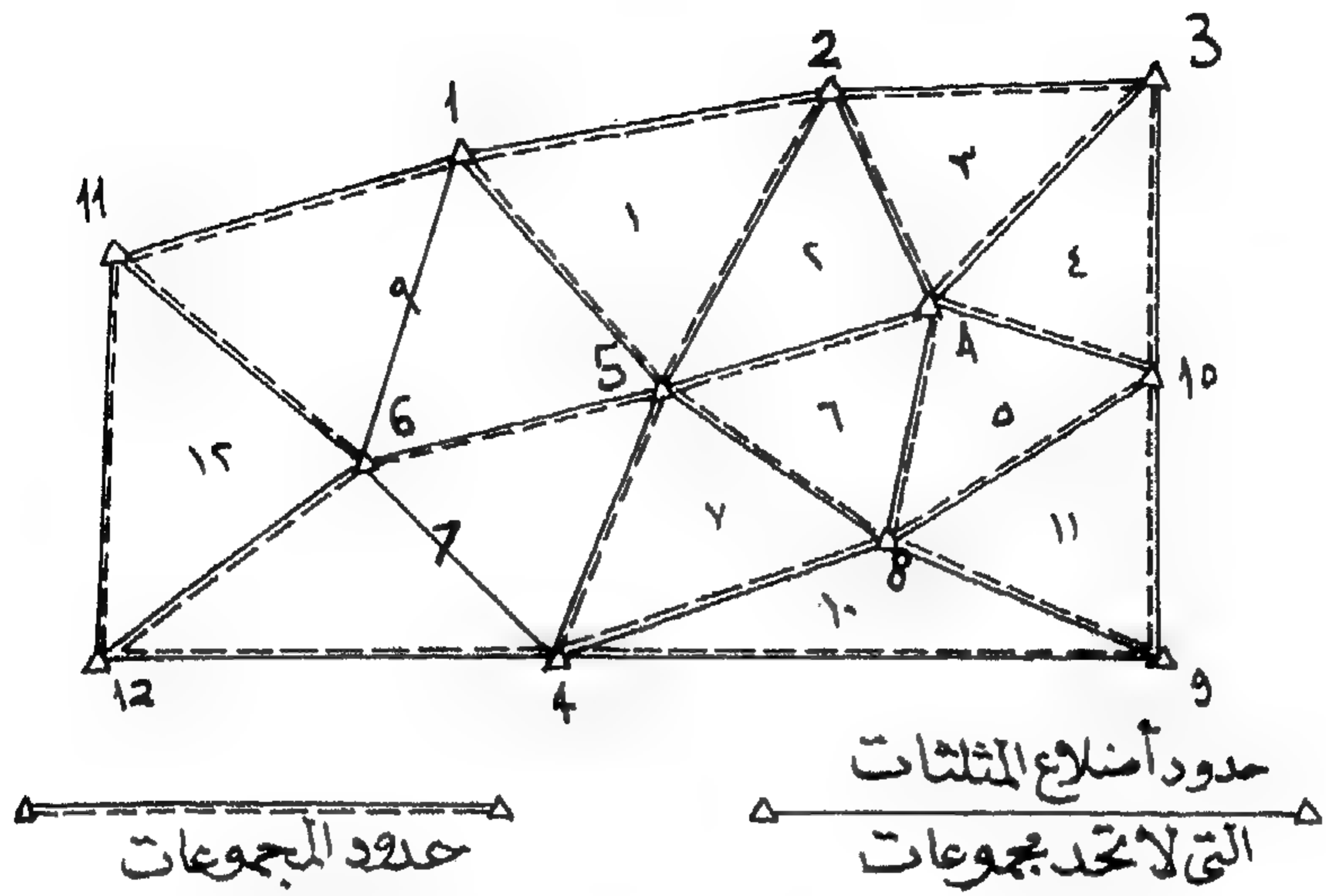
٤ - بعد ذلك يؤتى بالخرائط الكدسترالية ويوقع عليها نقط مثلثاتها وتوصل أضلاع بين هذه النقط وبعضها على نفس الخرائط الكدسترالية وبذلك تنحصر نقط التحديد المطلوب رصدها لهذه المنطقة .

### تشكيل المنطقة بالمكتب

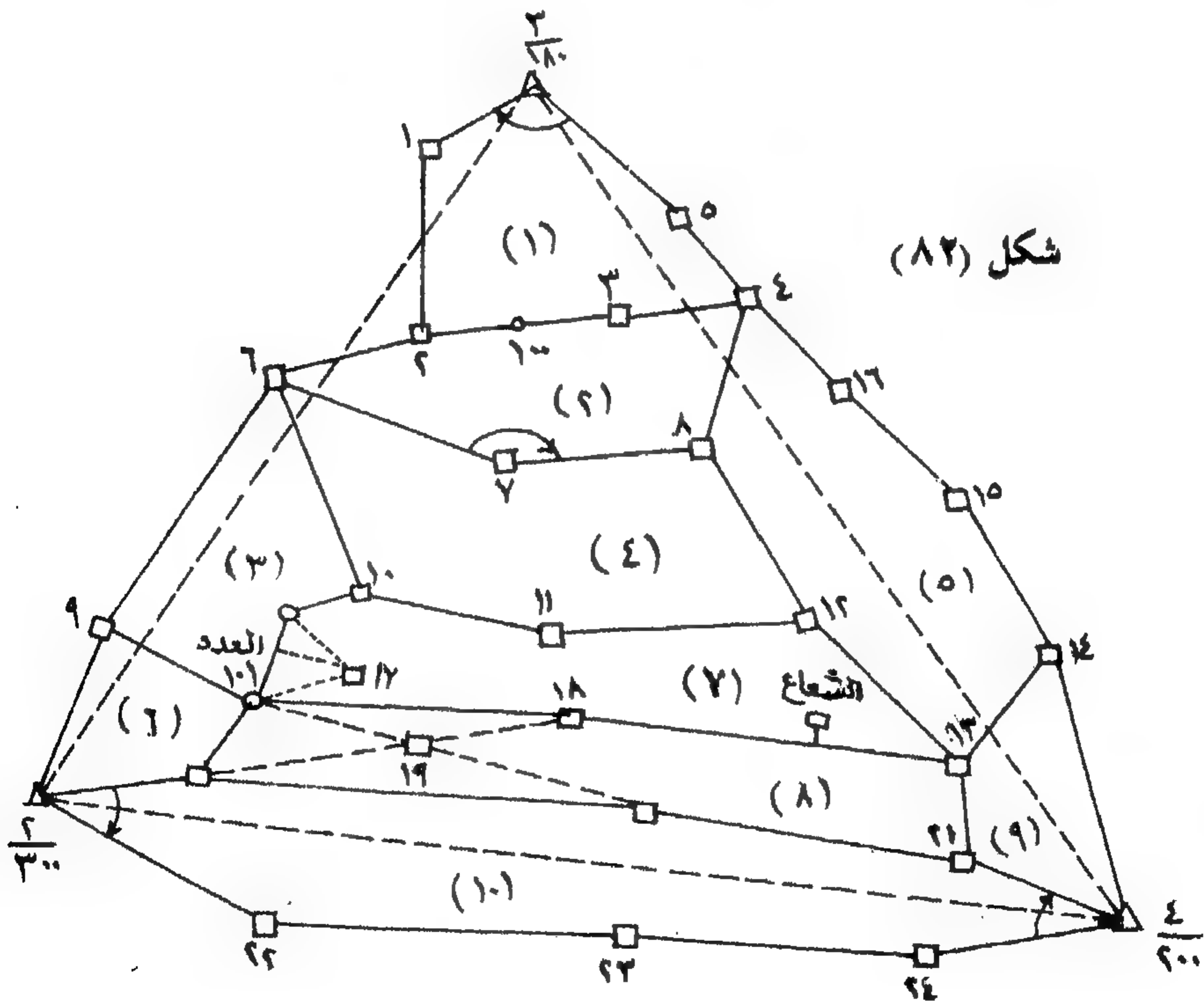
تشكل المنطقة من نقط التحديد التى أنحصرت فى المثلث ومن النقط التى تخرج عن المثلث بمقدار  $\frac{1}{4}$  طول ضلعه ثم تكون أشكال من هذه النقط بحيث لا

يزيد طول الشكل عن ٧٠٠ متراً وعرضه عن ٥٠٠ متراً شكل ( ٨٢ ) ويجب أن تكون هذه الأشكال فى مجموعها متصلة بنقط المثلثات المكونة لهذه المنطقة ثم ترقيم هذه الأشكال سلسلة حسب مواقعها بالتجاور بأرقام ذات حجم





شكل (٨١)





مميز ، وبعد ذلك ترقيم علامات التحديد بأرقام سلسلة لتلك الأشكال مبتدئاً  
بشكل ١ ، ٢ ، ٣ على التوالي حتى نهاية المنطقة .

### استكشافات المنطقة والتعليمات الواجب اتباعها :

١ — يجب أن تكون الأضلاع الواصلة ببعضها قريبة ما أمكن من التفاصيل  
الرئيسية التي ستقوم بمساحتها المساحة التفريديّة .

٢ — يجب أن تربط كل نقطة ترافرس في منطقة ما مباشرة أو غير مباشرة  
بنقطتين على الأقل من نقط مثلثات المنطقة الثلاث .

٣ — يجب ألا يقل طول ضلع الترافرس عن ٣٠ متراً ، وإذا تعذر ذلك  
يجب تقوية هذا الضلع بزواوية تقوية وهي حصر الضلع القصير في المثلث كما في  
شكل ( ٨٣ ) والغرض من ذلك هو الحصول على طريقة دقيقة لتعيين  
الأحداث .

٤ — يجب ألا يزيد ضلع الترافرس عن ٤٠٠ متر .

٥ — إذا كان ضلع الترافرس طويلاً ودعت الضرورة لإيجاد نقطة أو أكثر  
على الضلع فتثبت على ١٨٠° وذلك بواسطة التوجيه بالتيودوليت باحتلال  
إحدى نهايتي الضلع الأصلي ونعين هذه النقط أثناء قياسه مع قياسه مرتين  
شكل ( ٨٤ ) إحداهما في الذهاب والأخرى في الإياب ولا داعي لرصد هذه  
النقط .

### ٦ — طرق تثبيت النقط التي لا يمكن احتلالها بواسطة التقاطع :

١ — الطريقة الأولى : تثبيت النقطة بالتقاطع من أربع نقط أخرى رئيسية  
بدون قيد ولا شرط شكل ( ٨٥ ) .

ب — الطريقة الثانية : تثبيت النقط بالتقاطع من ثلاث نقط بشرط أن  
تكون أشعة التقاطع الثلاث تعمل زوايا عند نقطة التقاطع لا تقل كل منها عن  
٣٠° ولا تزيد عن ١٥٠° شكل ( ٨٦ ) .



ح - الطريقة الثالثة : تثبيت النقطة بالتقاطع من نقطتين فقط بشرط قياس الضلعين الواصلين إليها من الخط الأصلي وألا تقل كل زاوية من زوايا المثلث عن ٣٠° شكل ( ٨٧ ) .

#### ٧ - طريقة ربط علامة تحديد بخط الترافرس :

في حالة ما إذا كانت العلامة على بعد أقل من ١٤ متراً من خط الترافرس تربط العلامة برصد زاوية تسمى ( زاوية الشعاع ) يكون صفرها من الضلع المراد تثبيتها عليه ، وعمود وطوله وبعد الشعاع .

ففي شكل ( ٨٨ ) الخط ( ١٠ - ١٧ ) وهو خط الترافرس والنقطة (١) هي العلامة المراد تثبيتها والزاوية الواقعة في نقطة ١٠ بين ١٧ ، ١ هي زاوية الشعاع المقيس ، ١ - ٢ هو العمود .

#### ٨ - طرق تثبيت نقطة بالشعاع :

إذا لم يمكن رؤية نقطة ما إلا من نقطة واحدة فقط كالنقط التي توضع في نهاية الأزقة وما شابه ذلك شكل ( ٨٩ ) فيجوز تثبيت مثل هذه النقاط بطريقة الشعاع وذلك بالرصد على هذه النقطة وقياس ضلعها دفعيتين ويشترط في هذه الحالة إعادة العملية ( الرصد والقياس ) بمعرفة مهندس آخر وفي وقت آخر .

٩ - إذا تعذر قياس ضلع بين نقطة ترافرس وأخرى فيكتفى برصد زوايا مثلث يكون أحد أضلاعه الخط الذي تعذر قياسه وألا تقل كل زاوية من زواياه عن ٣٠° شكل ( ٩٠ ) .

#### ١٠ - طريقة ربط أعمال الترافرس بنقط المثلثات :

١ - الرصد والقياس إليها مباشرة ( حينما تكون نقطة المثلثات على الأرض والقياس إليها سهلاً ) .

فعند احتلال نقطة المثلثات لابد أولاً من الرصد على نقطتي مثلثات آخرين







للتحقيق شكل ( ٩١ ) وثانياً يرصد على نقطة أو نقط الترافرس المطلوب ربطها بنقط المثلثات .

ب — بتشكيل مثلث من نقطتي ترافرس ونقطة المثلثات .

وتتبع هذه الطريقة في حالة ما إذا تعذر القياس بالشريط بين نقطة مثلثات والترافرس كأن تكون نقطة المثلثات على سطح منزل أو على تل أو خلافه شكل ( ٩٠ ) بشرط ألا تقل إحدى زوايا المثلث عن  $30^\circ$  مع ملاحظة رصد زوايا المثلث وقياس قاعدته ورصد نقطة المثلثات والرصد على نقطتي مثلثات آخرين للتحقيق شكل ( ٩٢ ) .

ج — بطريقة الرصد من ثلاث نقط ترافرس .

تستعمل هذه الطريقة في حالة عدم إمكان إحتلال نقطة المثلثات كأن تكون قمة مؤذنة جامع أو منارة . ففي هذه الحالة يجب تشكيل مثلثين متجاورين قاعدتهما ثلاث نقط ترافرس سبق رصدها ورأساهما نقطة المثلثات شكل ( ٩٣ ) بحيث لا تقل إحدى زواياها عن  $30^\circ$  . ويشترط لهذه الحالة إنه عند رصد أى نقطة من الترافرس الثلاث هذه أن يرصد منها على نقطة مثلثات أخرى علاوة على نقطة المثلثات المطلوب الربط عليها للتحقيق .

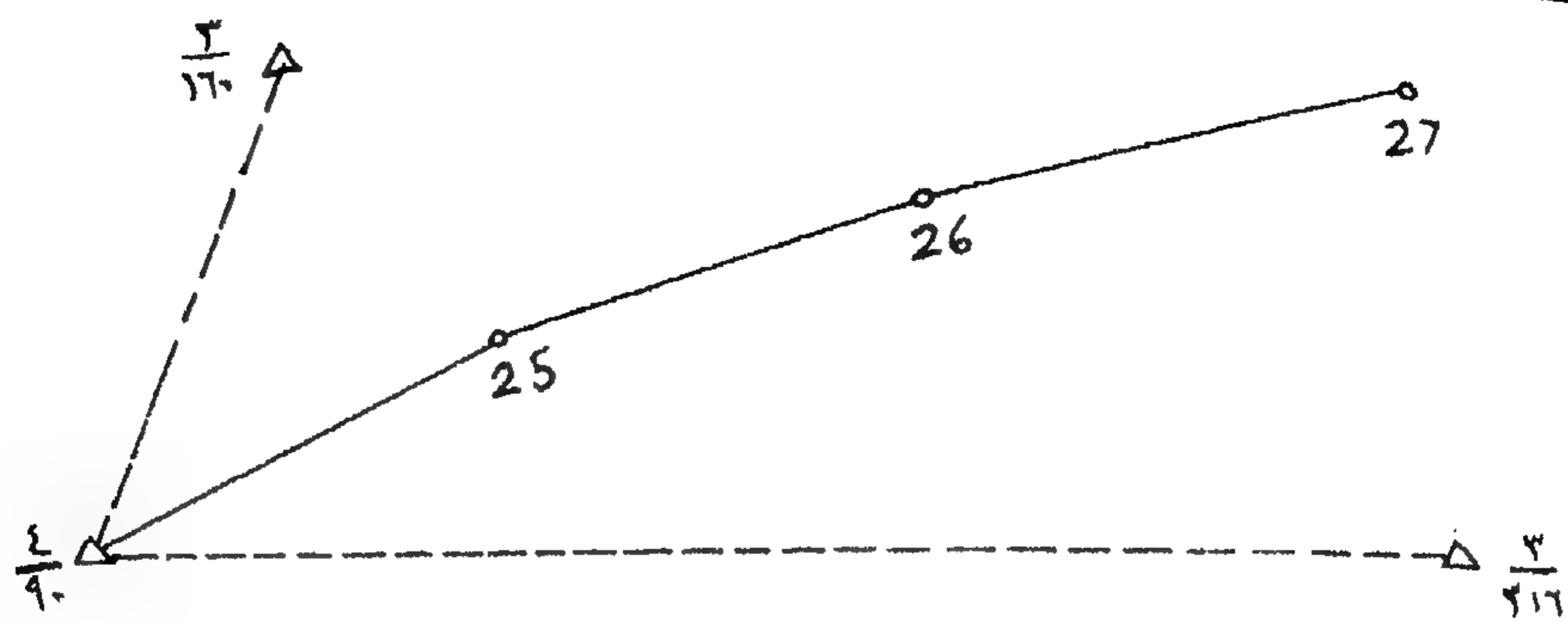
## ١١ — كارتات الوصف :

بعد وضع العلامات يعمل مهندس الترافرس كارتات وصف لكل علامة ويجب أن تكون واضحة تماماً ليتمكن بواسطتها إعادة وضع أى نقطة أزيلت من موقعها الأصلي ويجب .

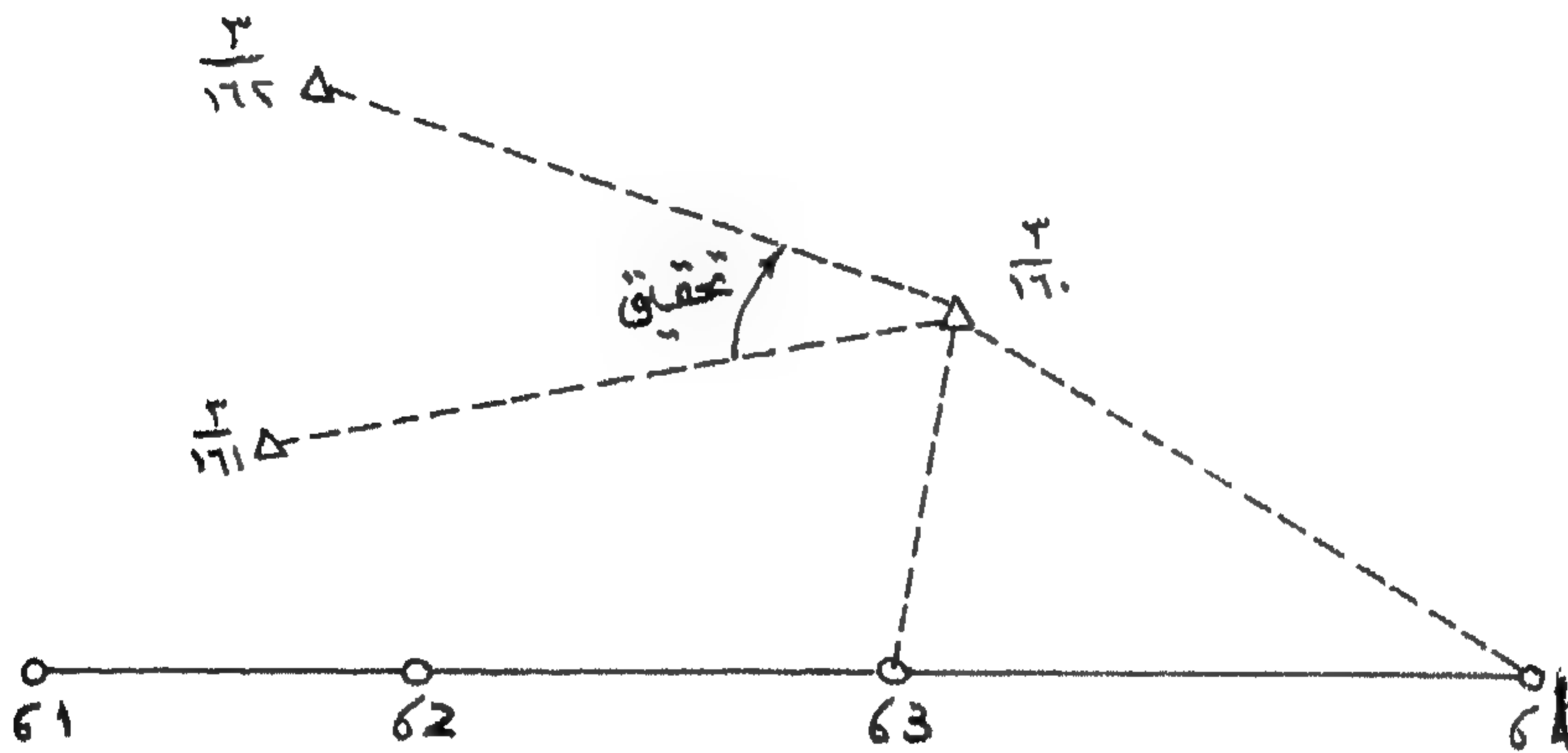
أولاً — عمل رسم كروكي واضح مبيناً به موقع النقطة بالضبط بالنسبة لما يجاورها من التفاصيل مع أخذ أربع مقاسات أربطة على الأقل من أشياء ثابتة ومن المهم أخذ المقاسات بالنسبة لعرض الطريق أو الجسر أو المنفعة .

ثانياً — النقط التي توجد بالأراضي البور والصحارى والجبال حيث لا

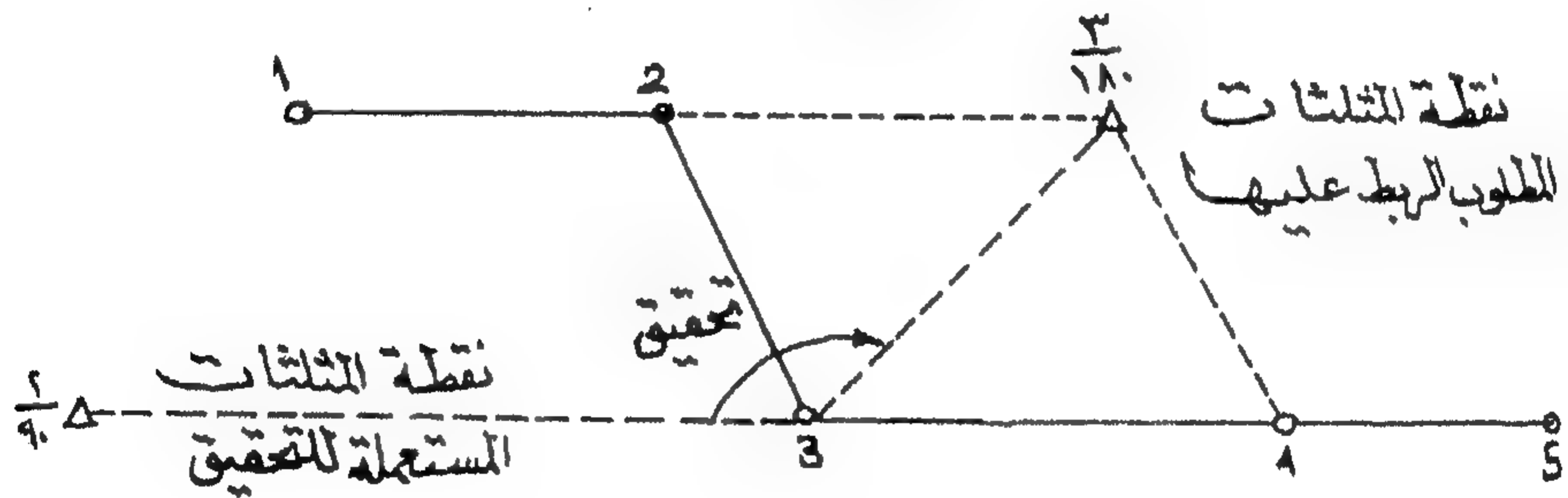




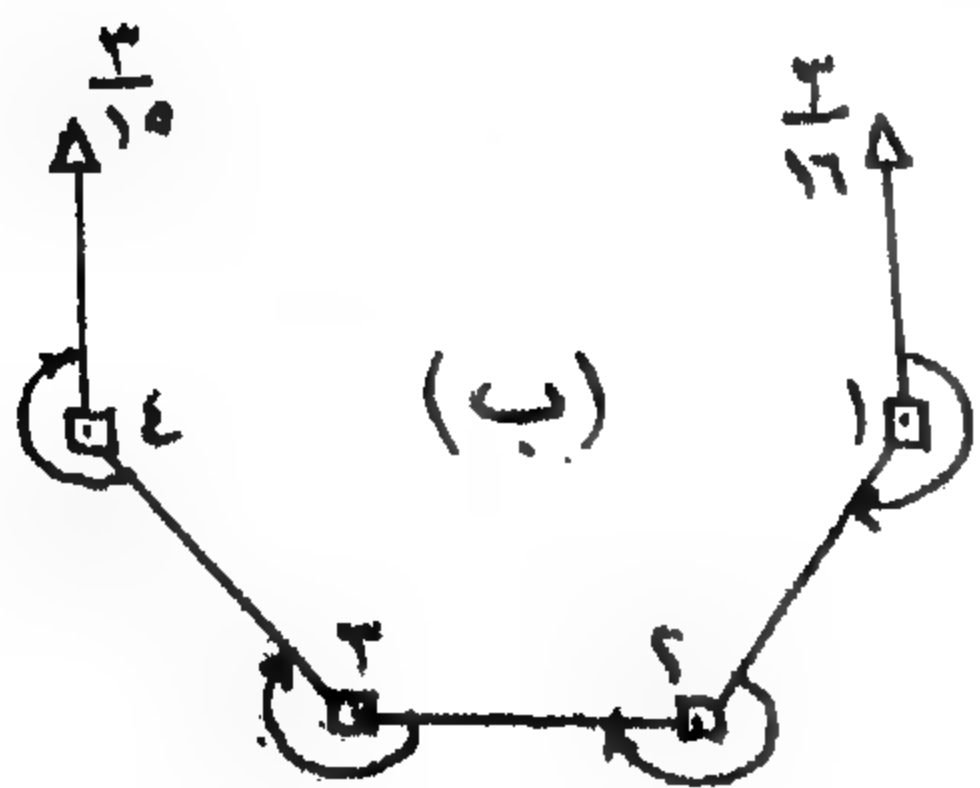
شكل (٩١)



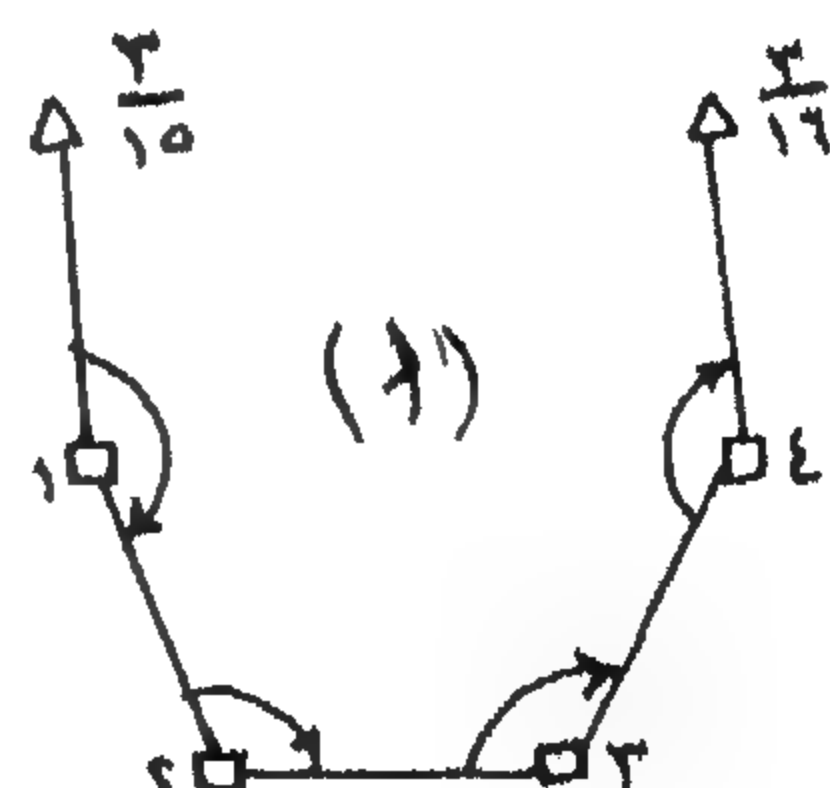
شكل (٩٢)



شكل (٩٣)



شكل (٩٤)





توجد بها تفاصيل أو معالم طبوغرافية لأخذ مقاسات منها يجب وضع الزوايا والأبعاد بهذه المنطقة أو النقطة على الكارت من النقط المجاورة لها .

ثالثاً — يستحسن ألا تزيد أبعاد الروابط عن ٢٠ متراً إلا عند الضرورة .

رابعاً — تعمل كارتات الوصف للنقط المساعدة ( الزوايا الحديد ) لوجودها تحت سطح الأرض أما علامات الترافرس ( قضبان الحديد ) فلا داعى لعمل كارتات لها حيث أنها ظاهرة على سطح الأرض بمقدار ٥٠ سم .

## ١٢ — ترتيب الخطوط بدفتر الرصد .

١ — ترتب نقط كل خط بالدفتر مبتدئاً من نقطة ثابتة ومنتهاً إلى نقطة ثابتة أخرى بآخر الخط ثم يبدأ بالخط يليه بالترتيب حتى نهاية المنطقة .

ب — قبل البدء فى رصد أى خط من خطوط المنطقة على الراصد أن يهيىء دفتر الرصد ويدون به أرقام النقط الواجب احتلالها وأرقام النقط الواجب الرصد عليها . فالنقط الواجب احتلالها تدون بدفتر الرصد فى خانة ( رقم رأس الزاوية ) والنقط المرصود عليها تدون فى خانة ( رقم النقط المرصودة ) المجاورة لها .

ج — تدون النقط المحتلة بحسب ترتيبها العددي المسلسل .

د — يدون أمام النقطة المحتلة مقياس البعد الواقع بينها وبين النقطة الخلفية .

## ١٣ — ترتيب الزوايا بالدفتر :

يكون على حسب ترقيم الخط الذى يعمل معه دوران التيودوليت وقت القراءة فى الرصد اتجاه عقرب الساعة كما فى شكل ( ١٩٤ ، ب ) . ففى شكل ( ١ ) عند احتلال نقطة ١ مثلاً يوجه أولاً على نقطة المثلثات  $\frac{3}{15}$  ثم على

نقطة ٢ . أما فى شكل ب فعند احتلال نقطة ١ يوجه على نقطة المثلثات  $\frac{3}{16}$  ثم

على نقطة ٢ .



١٤ - جميع النقط التى تقع بمحيط المنطقة يجب رصد زواياها الداخلية .

١٥ - يجب قياس طول كل ضلع ترافرس وتحقيقه . واحدة عند الأستكشاف ( مقاس أول ) والثانية عند الرصد ( مقاس ثانى ) ويجب ألا يزيد الفرق بين المقاسين عن ٥ سم فى كل ١٠٠ متر .

#### ١٦ - رسم كروكى للمنطقة :

أ - بعد انتهاء المهندس من رصد جميع نقط المنطقة ومراجعة دفاتها تستخرج صورة. على شفاف من واقع اللوح الكدسترالية ذات المقاس الكبير لترفق بدفاتر الأرصاد الخاصة بهذه المنطقة ويجب أن يعين على الكروكيات نقط المثلثات المكونة لهذه المنطقة وكذلك نقط الترافرس جديدة كانت أو قديمة وأرتباطها ببعض وأيضاً حدود النواحي كما يجب التمييز بين الخطوط التى رصدت فقط بأن تكون الأولى بخط كامل والثانية بخط مجزأ أما النقط السابق رصدها فتبين بالمداد الأسود والنقط الجديدة فتبين بالمداد الأحمر .

ب - اصطلاحات يجب مراعاتها فى رسم الكروكى وبيانها :

نقطة مثلثات تبين بالأسود : رسم مثلث بداخله نقطة .

نقطة تحديد المنطقة المجاورة السابق رصدها : رسم مستطيل صغير بداخله نقطة .

نقطة مساعدة للمنطقة المجاورة السابق رصدها : رسم دائرة صغيرة بداخلها نقطة .

نقطة تحديد المنطقة الجديدة تبين بالأحمر : رسم مستطيل صغير ( طوله الأكبر رأسى ) بداخله نقطة .

نقطة مساعدة للمنطقة الجديدة تبين بالأحمر : رسم دائرة صغيرة .

ج - يعمل كروكى بمقياس ١ : ١٠٠,٠٠٠ بموقع هذه المنطقة بالنسبة لنقط المثلثات وأضلاعها .



د — فى حالة عدم وجود خرائط كدسترالية للمنطقة يعمل كروكى لها بعد  
رصدها بالزوايا والأبعاد .

هـ — يراجع دفتر أرصاد المنطقة على الكروكى مراجعة دقيقة حتى إذا  
وجدت نقطة مرصودة وسقطت من الكروكى تبين به وكذا إن وجدت نقطة  
أو بُعد بالكروكى ولم ترصد ولم يقاس بعدها فيحتم ذلك بالضبط قبل إرسال  
المنطقة .

## II — ترافرس المنافع العمومية

ترافرس مجارى المنافع العمومية هو تثبيت النقط التى تجد أملاك الحكومة  
من الجانبين وفصلها عن أملاك الأهالى . وهذه المجارى إما أن تكون قديمة  
ومطلوب تجديد عروض هذه المنافع إما على حسب عروض مجراها الطبيعى أو  
على حسب أرانيك المشروعات .

والمنافع العمومية على وجه الأجمال هى المسطحات التى تُزَع أو ستنزع  
ملكيتها للصالح العام .

### أنواع المنافع :

- ١ — الرياحات والبحار .
- ٢ — الترع العمومية .
- ٣ — المصارف العمومية .
- ٤ — جسور النيل وجسور الحوض الخاص بالحياض .
- ٥ — الطرق الزراعية والسكك الحديدية .
- ٦ — مشروعات مباني الحكومة كالمدارس والمستشفيات وغيرها .
- ٧ — البرك والمستنقعات ومناطق الأتربة .

### سير العمل فى ترافرس المنافع :

- ١ — تقوم المساحة التفصيلية بتحديد ما يطلب من المنافع وإثبات علامات



تخديده على خرائط كدسترالية وترسل هذه الخرائط الكدسترالية لإدارة المساحة الطبوغرافية التي يقوم برصد علامات تحديد هذه المنافع .

٢ - عند ورود الخرائط الشاملة لعلامات تحديد المنفعة أى الطبوغرافية يقوم المكتب الفنى بتوقيع المشروع على خرائط ١ : ١٠٠,٠٠٠ مع وضع نقطة المثلثات التي تقوم حول المشروع المطلوب رصده وتجهيز الكارتات الخاصة لهذه النقط وكروكيات المشروعات القديمة السابق رصدها القرية من المشروع .

تقسيم المشروعات إلى مناطق :

بعد أن يتسلم المهندس الخرائط والأوراق السابق ذكرها يقوم بتقسيم المشروع إلى مناطق ويعطى لكل منطقة رقم من وإلى نهاية المشروع بالتسلسل :

١ - المنطقة فى المنافع هى أن تبتدىء من نقطة مثلثات وتنتهى بنقطة مثلثات أخرى بشرط ألا يزيد طولها عن ٤ كيلو متر مع التعاريج فى شكل ( ٩٥ ) .

منطقة (١) ابتداء من نقطة المثلثات  $\frac{٣}{٢٤}$  وتقف على النقطة  $\frac{٣}{١٧}$  منطقة (٢) من آخر نقطة ترافرس منطقة (١) وتقف على نقطة مثلثات  $\frac{٣}{٢٠}$  وهكذا حتى ينتهى المشروع منطقة منطقة حتى تقفل المنطقة الرابعة على نقطة المثلثات  $\frac{٣}{٣٠}$  .

الاستكشاف :

بعد تقسيم المشروع إلى مناطق يقوم المهندس أولاً بتوزيع الشواخص على نقط المثلثات اللازمة لربط ترافرس المشروع ويحقق نقط المثلثات فى بدء ونهاية كل منطقة ثم يبدأ استكشاف نقط تحديد المنطقة والاستكشاف فى المنافع يختلف باختلاف عروضها وطبيعتها وهى تنحصر فيما يلى :



- ٦ — ترافرس مشروعات مبانى الحكومة والمستنقعات ومناطق الأتربة .





## الطرق الواجب أتباعها فى تثبيت علامات تحديد المناطق

أولاً - تثبيت علامات تحديد المنافع التى تقل عرضها من ١٢ متراً :

١ - السكك الحديدية والطرق الزراعية وجسور النيل .

إن أمكن أخذ المقاسات الطولية والعرضية لمنفعة ما فتشت العلامة لهذه المنطقة بواسطة العمود فقط على خط ترافرس يوضع وسط المنفعة مع رصد زوايا هذا الخط المعتاد كما هو موضح فى شكل ( ٩٦ ) وإذا تعذر مقياس بعد بين نقطتين لوجود عائق بينهما كشجرة أو خلافه فيتبع فى ذلك إحدى الطريقتين الآتيتين :

١ - أن يمد خط إختيارى من إحدى النقطتين مفادياً العائق ثم يسقط عليه العمود من النقطة الأخرى شكل ( ٩٧ ) ويقاس البعد بين النقطتين بالحساب .

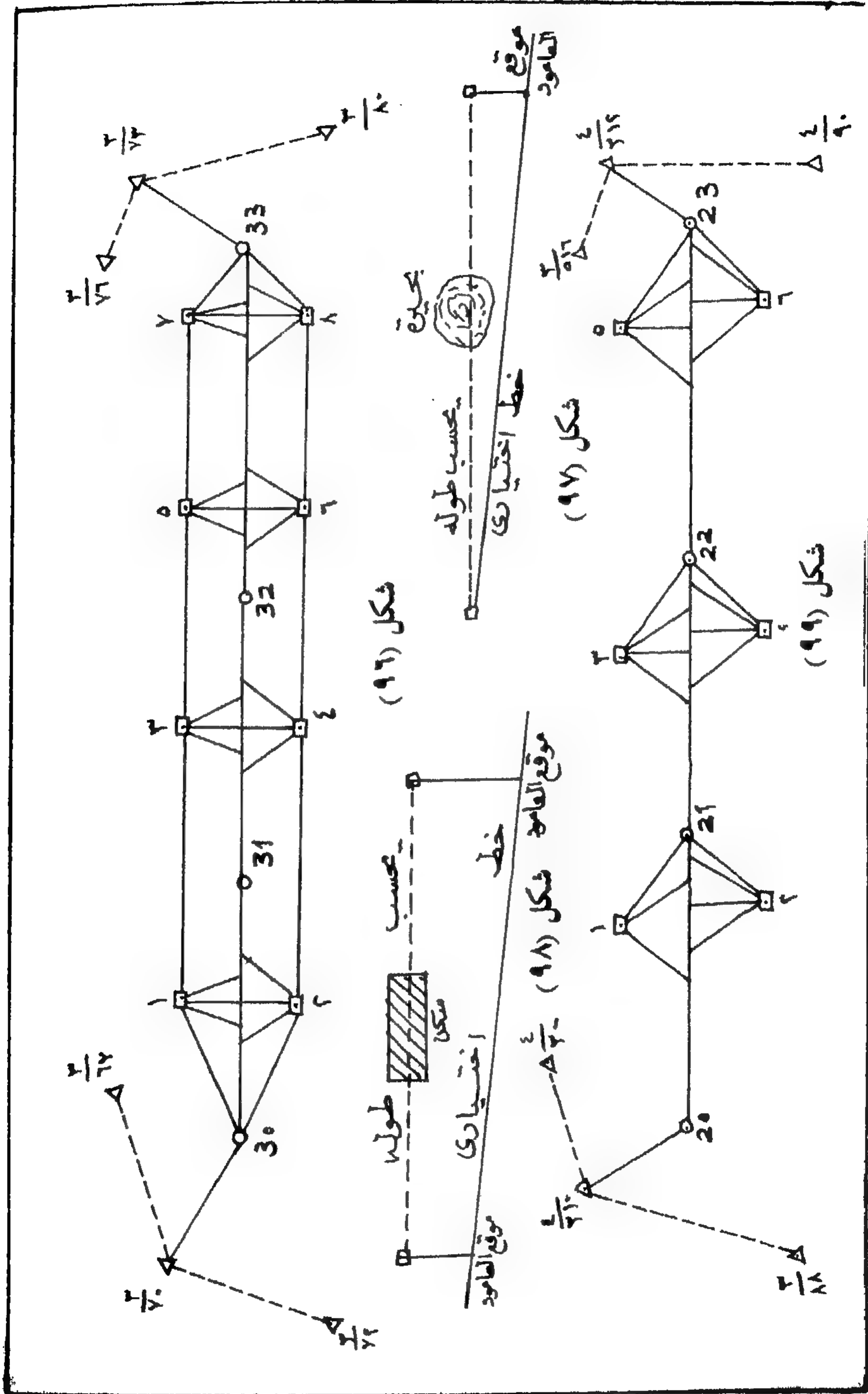
٢ - أن يمد خط إختيارى يفادى النقطتين شكل ( ٩٨ ) ثم يسقط عليه عمودان من النقطتين فمقدار طول العمودين وبيان موقعى العمودين كافيان لمعرفة طول المسافة بين النقطتين بالحساب .

ب - إذا لم يمكن أخذ المقاسات الطولية والعرضية لمنفعة ما فتشت علاماتها بالعمود وقراءة زاوية الشعاع على خط ترافرس يوضع فى وسط المنفعة كما فى شكل ( ٩٩ ) .

ثانياً - تثبيت علامات تحديد المنافع التى يقل عرضها عن ٤٠ متراً :

١ - إذا كانت علامات تحديد المنفعة تكشف بعضها بعضاً من الداخل فتتبع فى الرصد أولاً قراءة زاوية خط للشمال ثم زاوية التكملة ، ثم زاوية القطاع العرضى ويدون بدفتر الرصد بهذا الترتيب مع قياس الأضلاع طولاً مرتين وتدوينها بدفتر الرصد أما المقاسات العرضية فتقاس مرتين وتدون باستمارة القطاعات العرضية والطولية .







في شكل ( ١٠٠ ) في النقطة ( ٤ ) زاوية I هي زاوية خط الشمال ،  
وزاوية II هي الزاوية التكميلية ، زاوية III هي زاوية القطاع العرضي أو  
الزاوية القائمة .

ملحوظة — ١ — خط الشمال أو قطر الشكل هو الحصول على طريقة  
دقيقة لتعيين الأحداثيات في الأحوال التي يكون فيها عروض المنفعة أقل من ٤٠  
متراً .

٢ — إذا كانت المنفعة بعيدة عن نقط الربط ( مثلثات أو ترافرس قديم )  
فنصل نقطة المشروع بنقط الربط بواسطة نقطة مساعدة أو أكثر سواء كانت  
في بدء المنطقة أو إنتهائها مع ملاحظة أن يكون ترقيم النقط المساعدة بالأفريقي  
وغير متشابهة مع نقط المشروع .

ب — وفي حالة ما إذا كانت علامات التحديد لا تكشف بعضها بعضاً من  
الداخل وكانت قريبة من جسر المنفعة فيرى بالطبيعة أنه إذا وضع ترافرس  
مساعد على أحد الجسرين ورؤى أن يكشف علامات الجسر الثاني فيكتفى  
بوضع هذا الخط ونثبت عليه علامات التحديد المجاورة له بطريقة العمود  
وزاوية الشعاع ثم نتبع في تثبيت علامات الجسر المقابل طريقة الأرصاد المتبعة  
كما في شكل ( ١٠١ ) .

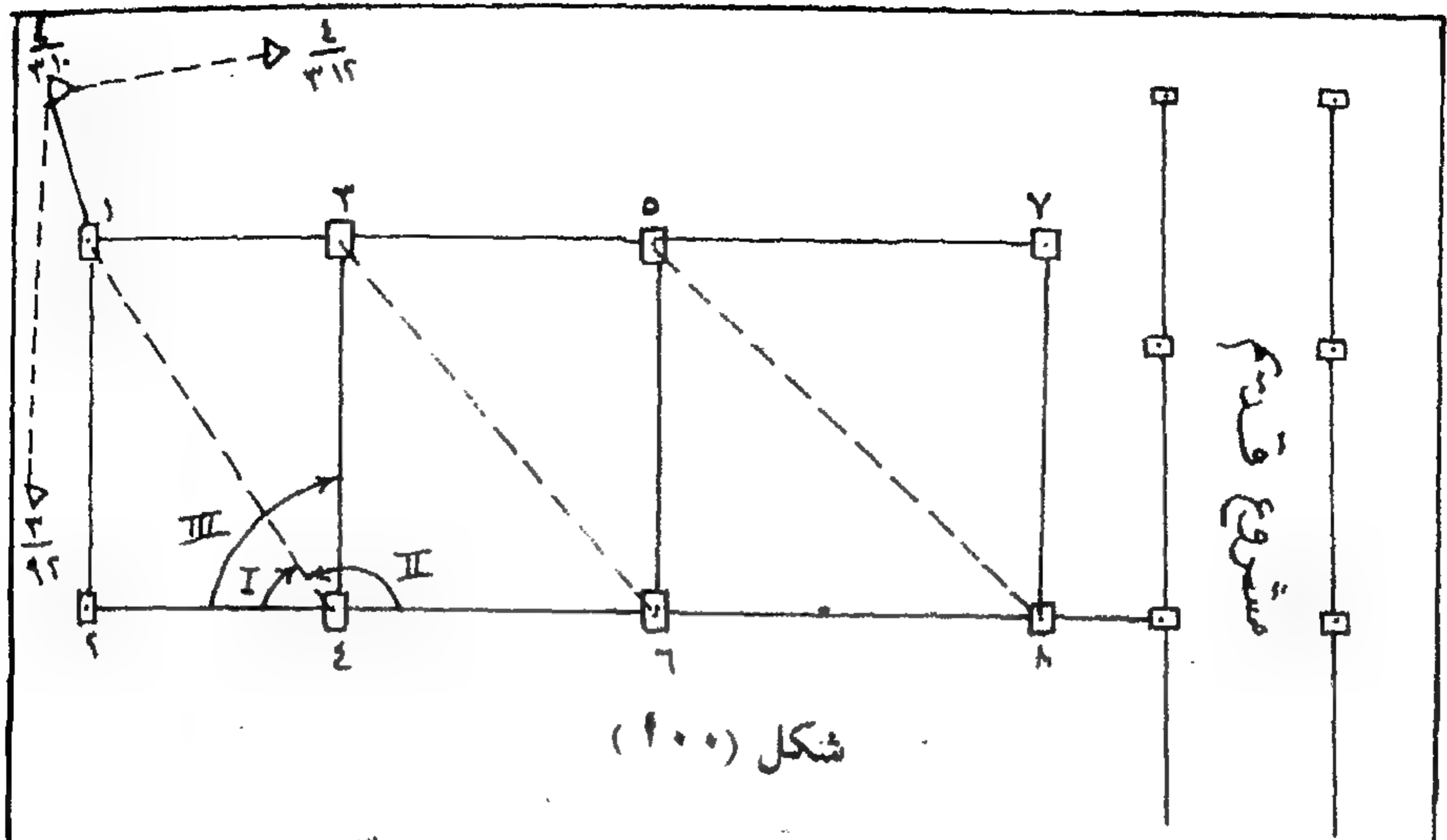
ح — أما إذا رؤى أن وضع خط ترافرس مساعد على أحد جسرى المنفعة  
لا يكشف علامات تحديد الجسر المقابل فيوضع خط ترافرس آخر مساعد على  
هذا الجسر وتثبت علامات تحديد الجسرين على الخطين المساعدين بطريقة  
العمود وزاوية الشعاع شكل ( ١٠٢ ) .

ثالثاً — تثبيت علامات المنافع التي تنحصر عروضها بين ٤٠ و ٦٠ متراً :

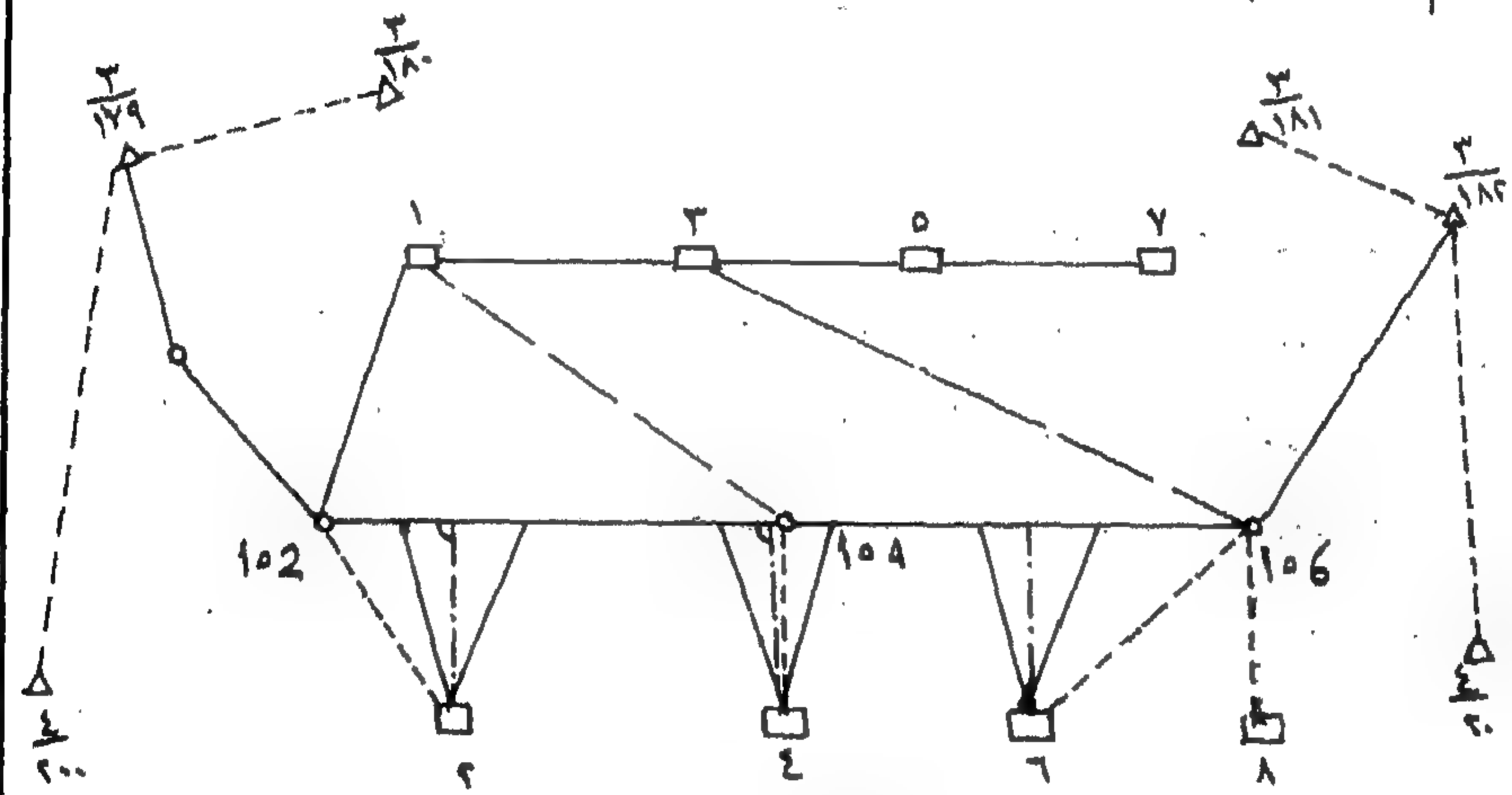
تثبيت علامات المنافع بهذه العروض بإحدى الطريقتين الآتيتين :

الطريقة الأولى — إذا كانت علامات المنفعة تكشف بعضها البعض من

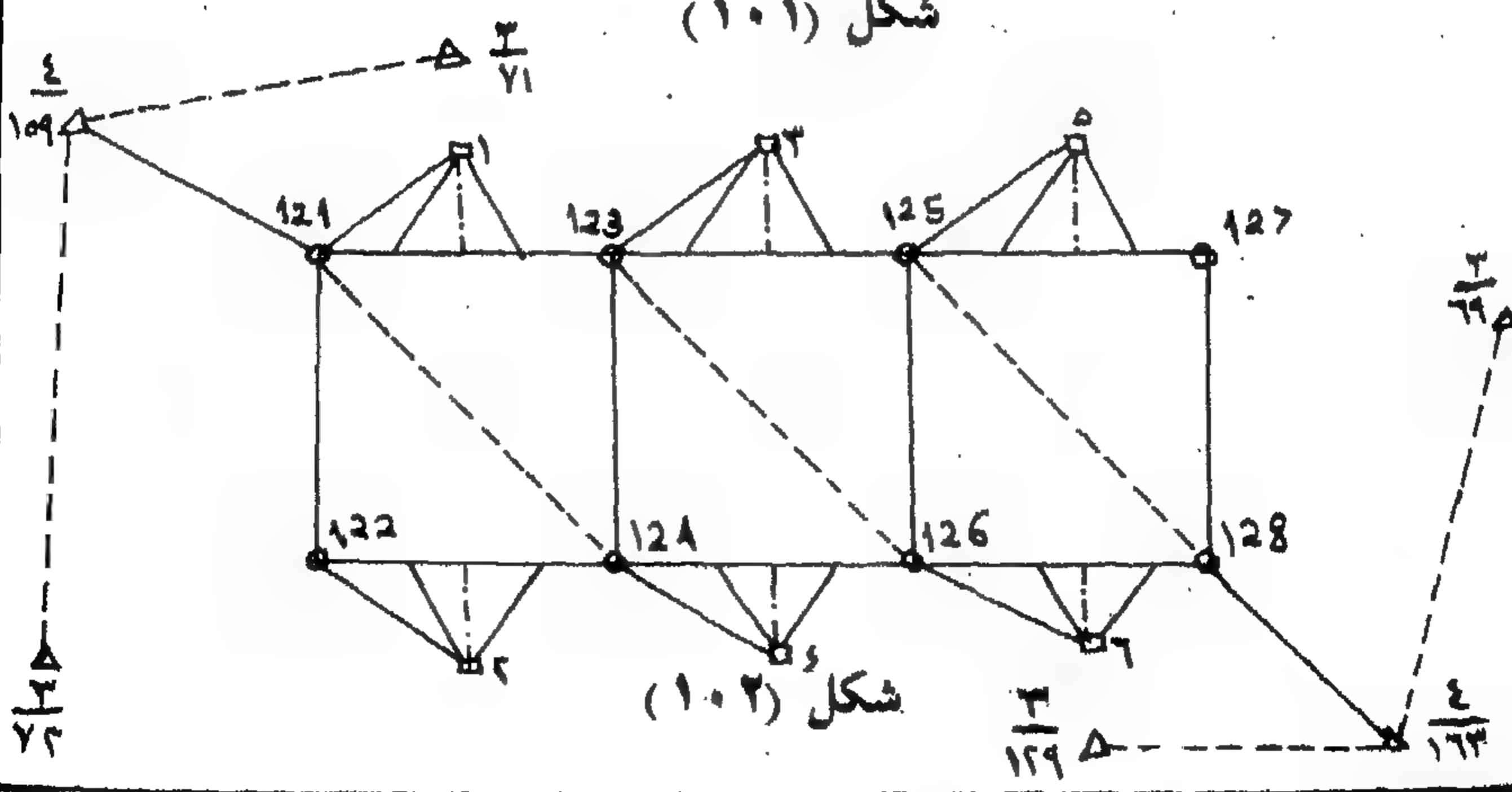




شکل (۱۰۰)



شکل (۱۰۱)



شکل (۱۰۲)



الداخل فيتبع في رصد علاماتها زاوية القطاع ثم التكملة ( زاويتي خط القطاع ) شكل ( ١٠٣ ) مع تدوين المقاسات الطولية بدفتر الرصد والمقاسات العرضية باستمارة الرصد .

**الطريقة الثانية —** عند عدم إمكان كشف علامات التحديد لبعضها البعض فيتبع في الرصد الطريقة المستعملة في رصد نقط الحياض بتكوين أشكال مع ملاحظة ربط الشاطئين ببعض على كل ٥٠٠ متر كما هو موضح في شكل ( ١٠٤ ) .

**ملحوظة :** الربط إما أن يكون بتوصيل علامات التحديد مباشرة ( بالرصد والقياس ) أو بوضع نقطتين مساعدتين أو بتشكيل مثلث إذا تعذر القياس كما في شكل ( ب ) .

**رابعاً —** المنافع التي تزيد عرضها عن ٦٠ متراً :

يتبع في تثبيت علاماتها ما سبق شرحه في الحالة السابقة غير أنه في الحالة الثانية من هذه الطريقة يكون الربط على ٧٠٠ متراً بدلاً من ٥٠٠ متر .

**خامساً —** طرق تثبيت علامات المنافع العمومية للجبانات والبرك والمستنقعات ومشروعات مبانى الحكومة كالمدارس والمستشفيات :

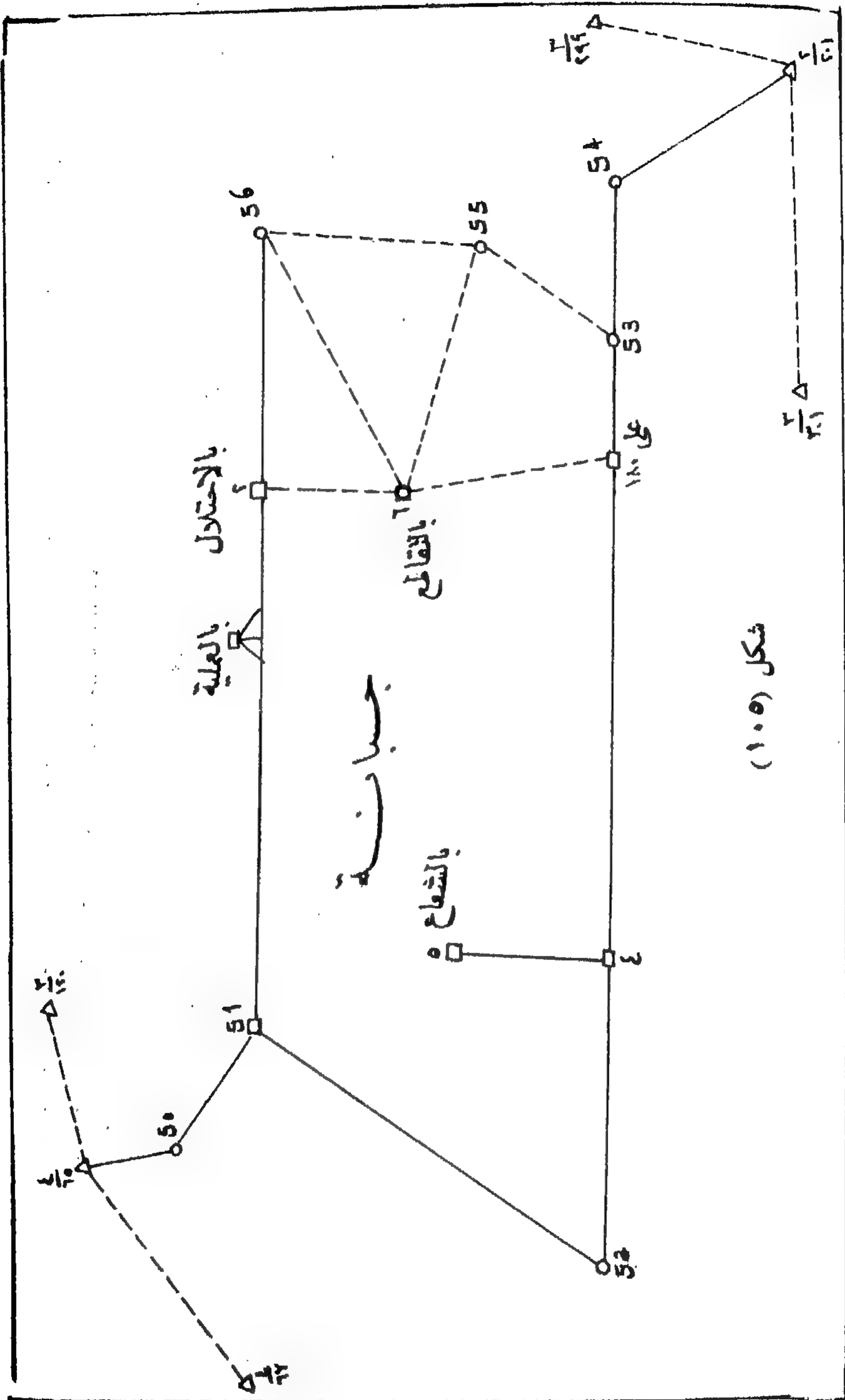
١ — الجبانات : يوجد نوع من الجبانات خاص بالقرى والأرياف ويتبع في تثبيت علامة طرق تثبيت علامات الحياض وهي إما بإحلال أو بالتقاطع أو على ٥١٨٠ أو بالشعاع السابق شرحها . مع ضرورة ربطها على مثلثات أو ترافرس قديم من جهتين مختلفتين لهذه الجبانة شكل ( ١٠٥ ) وحد الجبانة هو من علامات التحديد التي من قضبان الحديد .

٢ — علامات تحديد مشروعات مبانى الحكومة كالمدارس والمستشفيات وكذا البرك والمستنقعات والتلال فيتبع في تثبيتها نفس طرق تثبيت علامات جبانات القرى السابق شرحها . غير إنه إذا تعذر احتلال النقط جميعاً أو





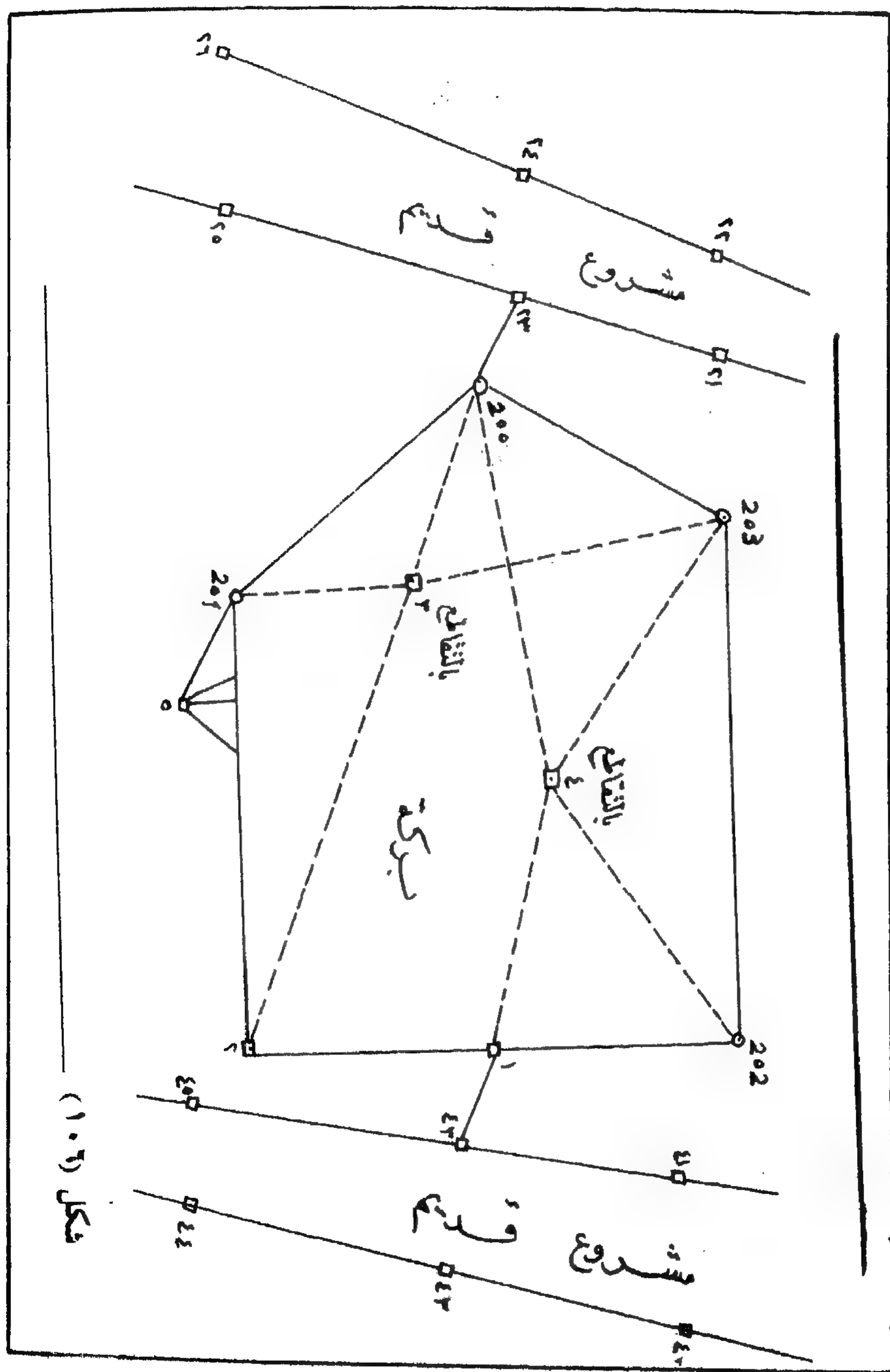




شكل (١٠٥)



بعضها أو تعذر تثبيتها بالعملية فيوضع خط ترافرس خارج المنفعة وتثبيت  
العلامات بالتقاطع مع ضرورة ربطه على المثلثات أو الترافرس القديم شكل  
(١٠٦) .



شكل (١٠٦)



### III — ترافرس المدن

تنحصر أعمال ترافرس المدن فيما يأتي :

- ١ — مثلثات المدن ولها شرح خاص .
- ٢ — نقط الترافرس الأصلية للمدن .
- ٣ — نقط الترافرس الفرعية للمدن .

#### ١ — التجهيزات اللازمة لأعمال ترافرس المدن :

- ١ — ١ — خريطة مقياس ١ : ٢٥٠٠٠ مبين عليها نقط مثلثات البندر .
- ٢ — ٢ — كارتات وصف نقط مثلثات البندر .
- ٣ — ٣ — صورة بمقياس ١ : ١٠٠٠ لخريطة البندر إن وجد .
- ٤ — ٤ — كروكيات الترافرس السابق وضعه بمناطق الحياض المجاورة البندر كروكيات الترافرس السابق وضعه للمنافع العمومية المجاورة البندر والداخلية فيه .

ب — تؤخذ خريطة ١ : ٢٥٠٠٠ المبين عليها نقط المثلثات وتقسم إلى مجاميع مع ترقيمها بأرقام سلسلة مبتدئاً من رقم ١ كما شكل ( ٨١ ) ويلاحظ من الشكل أن المجموعة يمكن تعريفها بأنها هي كل مسطح محصور بين ثلاث نقط مثلثات فأكثر .

ج — تبين نقط المثلثات على خريطة البندر ١ : ١٠٠٠ ( وفي حالة عدم وجود خريطة يعمل كروكي بهذا المقياس بواسطة المنقلة من واقع دفاتر الرصد والمقاسات مجموعة فمجموعة ) .

#### ٢ — كيفية استكشاف نقط ترافرس المجموعة :

- ١ — يجب على المهندس القائم بأعمال ترافرس المدن أن يكون لديه الأدوات التالية : تيودوليت — ميزان وما يلزمهما من أدوات .



ب — بناء على التقسيم الذى عمل على خريطة ٢٥٠٠٠ / ١ السابق ذكرها — يبدأ بأستكشاف كل مجموعة على حدة بالطبيعة بحيث يبدأ بنقطة مثلثات وينتهى بنقطة مثلثات — وعلى شرط أن لا يخرج الترافرس المار بالشوارع المحددة للمجموعة عن ربع طول ضلع المثلث المار باتجاهه .

ح — توضع نقط الترافرس الأصلية بالشوارع الرئيسية المحيطة بالمجموعة مبتدئاً من نقطة مثلثات ومنتهاً بأخرى على جميع أضلاع مثلثات المجموعة — ثم توضع نقط أصلية بالشوارع النافذة داخل المجموعة لتكوينها إلى مضلعات بشرط أن يكون كل مضلع مرتبطاً مباشرة أو بنقطة أصلية من مضلعات أخرى بنقطتى مثلثات على الأقل .

د — تدمج النقط القديمة سواء كانت من ترافرس الحياض أو المنافع المجاورة للبندر أو الداخلة فيه ضمن ترافرس البندر مع الاحتفاظ بأرقامها القديمة على أن تحقق النقط المندجة عن نقط أخرى قديمة .

هـ — بما أن طول ضلع مثلثات المدن لا يزيد عن ٧٠٠ متر فيلاحظ أن طول خط الترافرس الأصلى لا يزيد عن كيلو متر واحد مع التعرّيج .

و — يجب وضع نقط أصلية كافية ليتيسر منها ربط الترافرس الفرعى عليها .

ح — نقط الترافرس يجب وضعها على جانب واحد من الشارع أو الحارة .

ط — لا داعى لمقاسات أضلاع الترافرس الأصلى أثناء وضع نقطة حيث أنها ستقاس عند عمل الميزانية .

ى — ربط الترافرس الأصلى بالمثلثات أما بواسطة الرصد والمقاس مباشرة — أن كانت نقط المثلثات على الأرض والمقاس إليها متيسر — وإما بواسطة تشكيل مثلث إن كانت نقط المثلثات فوق سطح منزل أو مأذنة مسجد أو تل أو ما أشبه ذلك — وفى حالة ما إذا كانت نقطة المثلثات فوق



سطح منزل وسط البندر وتعذر تشكيل مثلث — فنكتفى بربط خط الترافرس بنقطة المثلثات مباشرة بواسطة المقاس العادى والميزانية والمسقط وإيضاحاً لذلك :

أولاً — تبين نقطة المسقط بنهاية سطح المنزل على طول الضلع بين نقطة المثلثات ونقطة الترافرس بواسطة التوجيه بالتيودوليت .

ثانياً — يقاس البعد المحصور بين نقطة المثلثات ونقطة المسقط مقاساً عادياً .

ثالثاً — نسقط النقط بواسطة الأنبوبة الحديدية المعدة لذلك بواسطة خيط شاغول على الأرض مع وضع علامة لها .

رابعاً — يقاس البعد المحصور بين هذه العلامة ونقطة الترافرس بالميزانية وشريط الصلب بالطريقة المتبعة .

ك — ترقم نقط ترافرس المجاميع بأرقام سلسلة فى كل البندر ولا يجوز تكرار شئ منها كما فى الشكل ( ١٠٧ ) .

ل — يلاحظ أن طول ضلع الترافرس الأصيل لا يزيد عن ٣٠٠ متر ولا يقل عن ٣٥ متراً فإن قل يعمل له زاوية تقوية فإن تعذر ذلك توضع الأسباب .

م — عند وضع الترافرس الأصيل يجب عمل كرات لكل نقطة من صورتين لا تقل الروابط فيه عن ستة أوتار — إلا فى الجهات الفضاء فإنه يكفى بما لا يقل عن ثلاثة روابط .

أما فى الجهات الرملية والفيضانات الخالية من المعالم الطبوغرافية فإنه يكتفى بوضع الزاوية والبعد لكل نقطة موجودة مع تحبير الروابط .

ن — العلامات التى توضع بالشوارع تكون من زوايا حديد طول ٥٠ سنتيمتر أما فى الشوارع المرصوفة فتوضع فيها زوايا حديد من طول ٢٥



سنتيمتر فإن تعذر وضعها فيوضع طول ٦٠ سنتيمتر مع ملاحظة جعل راوية العلامة على إتجاه البحرى وجعل قمة الزاوية تحت سطح الأرض حتى لا تضر المارة ولا يعيث بها .

س — نكتب أرقام الترافرس بالبوية على الحائط المقابل لها أو القريب منها مع كتابة حرف ك ( كبير ) للدلالة على أنها نقطة أصلية .

٣ — ترتيب دفاتر الأرصاد للمجموعة .

١ — يبدأ بترتيب زوايا الأرصاد بالدفاتر لكل خط على حدة كما في شكل ( ١٠٨ ) وإيضاحاً لذلك نبدأ أولاً بزاوية التحقيق (1) في نقطة المثلثات  $\frac{3}{18}$  ثم

زاوية البدء بالخط رقم ١ وهى زاوية (2) ثم راوية الخط بنقطة ٣ وهى زاوية (3) ثم زاوية الخط ٢ وهى زاوية (4) ثم راوية الخط بنقطة ٣ وهى زاوية (5) ثم زاوية القفل بنقطة المثلثات  $\frac{3}{16}$  وهى زاوية (6) ثم زاوية تحقيق المثلثات وهى زاوية (7) وهنا ينتهى الخط ١ .

وترتيب زوايا الخط رقم ٢ فيبدأ بزاوية البدء بنقطة المثلثات  $\frac{3}{16}$  وهى زاوية (8) ثم زاوية الخط (9) . (10) إلى أن يتهى القفل عند نقطة المثلثات  $\frac{3}{19}$  بزاوية (11) ثم زاوية التحقيق وهى (12) وإلى هنا ينتهى ترتيب الخط رقم ٢ .

وترتيب الخط رقم ٢ فيبدأ بزاوية البدء وهى (13) ثم راوية الخط (14) ثم زاوية القفل بنقطة المثلثات  $\frac{3}{17}$  وهى زاوية (15) وإلى هنا ينتهى ترتيب الخط رقم ٣ .

وترتيب الخط رقم ٤ فيبدأ بزاوية البدء فيه بنقطة ٥ وهى راوية (16) ثم زاوية الخط وهى (17) ثم زاوية القفل بنقطة ٢ وهى زاوية (18) وإلى هنا ينتهى ترتيب الخط رقم ٤ .







وترتيب الخط رقم ٥ فيبدأ بزاوية البدء ٦ وهى زاوية (19) ثم زاوية الخط وهى رقم (20) ثم زاوية القفل بنقطة ٧ وهى زاوية (21) وإلى هنا ينتهى ترتيب الخط رقم ٥ .

ب — يلاحظ فى ترتيب الدفاتر أن يبدأ كل خط بصحيفة جديدة .

#### ٤ — أرصاد النقط الأصلية :

أ — تدون الأرصاد بالدفاتر حسب ما توضح بترتيبها السابق مع ملاحظة تدوين الزوايا المشتركة بصفحاتها بالدفتر بنفس الصفر لكل نقطة وقت احتلالها .

ب — ترصد النقط الأصلية على أسياخ حديد بكفة طول ١,٥ متر فإن كان الضلع قصيراً فيرصد على شوكة حديدية .

ج — بعد إنهاء أرصاد النقط الأصلية للمجموعة تملأ الخانات الموجودة على غلاف الدفتر .

#### ٥ — عمل الميزانية لأضلاع النقط الأصلية :

أ — تقاس جميع النقط الأصلية للمجموعة مع عمل الميزانية مرتين ( مرة فى الذهب وأخرى فى إلاباب ) وذلك بواسطة شريط صلب على بكرة وميزان وقامة متر مقسمة درجة ثانية وقاعدة حديد زهر .

ب — تعمل الميزانية على جميع النقط المختلفة المناسيب لضلع الترافرس وقت قياسه بالشريط مع تدوين قراءات القامة والمقاسات وتدون ذلك بالدفتر الخاص بذلك .

ج — عمل ميزانية المقاس خاص بكل ضلع ترافرس على حدة .

#### ٦ — الأعمال اللازم إجراؤها بعد انتهاء الأرصاد والميزانية للمجموعة :

أ — بعد إنتهاء أرصاد النقط الأصلية وعمل الميزانية لأضلاعها تحشى بخرائط البندر أو الكروكى مقياس ١ / ١٠٠٠ بواسطة المنقلة من الزوايا والأبعاد .



ب — تلون حدود كل مجموعة باللون الأخضر .

ح — تؤخذ صورتان لنقط المجموعة أحدهما على شفاف والأخرى على كلك مع تحبير نقط الترافرس بالأزرق — أما نقط المجاميع المجاورة السابق رصدها فتبين بالأسود مع كتابة ديباجة على كل صورة تبين رقم المجموعة وأسم البندر والمصطلحات ومقياس الرسم .

د — بعد إتمام ما تقدم ترسل الدفاتر والأوراق إلى القسم المختص .

## ٧ — تقسيم المجموعة إلى أقسام :

ا — بعد الإنتهاء من أرصاد النقط الأصلية للمجموعة تقسم إلى أقسام من المضلعات .

ب — القسم هو كل مضلع أو أكثر من مجموعة محاط بنقط أصلية ولا تزيد عدد نقطه الفرعية في الغالب عن ستين نقطة .

ح — يميز كل قسم من أقسام كل مجموعة بحرف أبجدي يكون على شكل كسر بسطه الحرف الأبجدي ومقامه رقم المجموعة شكل ( ١٠٩ ) .

فمجموعة رقم ١ المقسمة إلى أقسام ألف ، ب ، ح ، د تكتب هكذا .

$$\frac{\text{ألف}}{١} ، \frac{\text{ب}}{١} ، \frac{\text{ح}}{١} ، \frac{\text{د}}{١}$$

كذلك مجموعة رقم ٢ المقسمة بنفس الأقسام تكتب هكذا :

$$\frac{\text{ألف}}{٢} ، \frac{\text{ب}}{٢} ، \frac{\text{ح}}{٢} ، \frac{\text{د}}{٢} الخ كما في شكل ( ١٠٩ ) .$$

د — تلون حدود المجاميع بالأخضر كما سبق شرحه وتلون حدود الأقسام بالأصفر .



## ٨ — أستكشف الأقسام :

١ — تستكشف الأقسام بأن توضع نقط فرعية على رؤوس الشوارع والحارات في المسافات المحصورة بين النقاط الأصلية المشتملة عليها الأقسام ( مع ربطها بها ) ثم توضع أيضاً داخل الشوارع والحارات النافذة والأزقة المسدودة وفي ممرات الحدائق والمنتزهات العمومية .

ب — توضع نقط الترافرس اللازمة للأقسام المجاورة أثناء العمل بالقسم الجارى به العمل للتسهيل والإقتصاد في الوقت وذلك للبدء فيها مباشرة عند الأشتغال بتلك الأقسام الأخرى المجاورة .

ح — تدمج النقاط القديمة من حياض ومنافع ضمن نقط الأقسام عند الحاجة مع الاحتفاظ بنمرها القديمة وربطها بنقطتين قديمتين إن أمكن .

د — الشوارع التي يزيد عرضها عن ١٢ متر يجب وضع خطى ترافرس فرعى بجانبها لسهولة الرفع .

هـ — كل خط ترافرس فرعى يجب ربطه بكل نقطة أصلية تصادفه — فإن لم يصادفه شيء منها فيجب الربط على كل ٥٠٠ متر .

و — جميع النقاط الفرعية التي توضع بالشوارع والحارات والأزقة يجب أن تكون في جانب واحد منها .

ح — تعمل كارتات لجميع النقاط الفرعية من صورتين مع الروابط الكافية وتحيير جميع أرقام أوتارها .

ط — تنمر النقاط الفرعية بكل قسم بنمر هندية مسلسلة إبتداء من نمرة ١ إلى نهاية كل قسم مع كتابة رقم النقطة بالبوية على الحائط المقابل لها أو القريب منها .

ي — يراعى في ترقيم النقاط الفرعية أن تكون مسلسلة حسب ترتيب أرقام الخطوط .



ك — ضلع الترافرس الفرعى لا يزيد طوله عن ١٠٠ متر ولا يقل عن ٢٠ متر فإن قل يعمل له زاوية تقوية إن أمكن وإلا تبين الأسباب بخانة الملحوظات .

ل — إذا رؤى أن عدد نقط أى ترافرس قليل جداً فيمكن ضمه إلى الترافرس المجاور وإعتبارهما قسماً واحداً .

م — تقاس أضلاع الترافرس الفرعى فى الدفعة الأولى قياساً عادياً ( بدون ميزانية ) حال وضعها مباشرة مع تدوين أبعادها بدفتر الأرصاد والكث .

#### ٩ — رصد ترافرس النقط الفرعية للأقسام :

ا — ترتب دفاتر الأرصاد حسب نظام دفاتر ترافرس الحياض فى الرصد والمقاس السابق شرحه .

ب — تقاس الدفعة الثانية لأضلاع الترافرس الفرعى عند الرصد بشرط أن لا يزيد الفرق فى مقاس الدفعة الثانية عن ٣ سنتيمتر فى كل ١٠٠ متر وإلا فيعاد مقاس الضلع مرة ثالثة .

ح — نرصد زوايا النقط الفرعية على أسياخ حديد بكفة أما الأضلاع القصيرة فترصد على شوك حديد .

د — عند احتلال نقط أصلية أو فرعية البدء منها أو القفل عليها يجب إيجاد زاوية تحقيق مع قياس ضلعى الزاوية مرة واحدة بدون ميزانية .

هـ — يلاحظ أن تملأ خانات دفاتر الأرصاد .

و — بعد الانتهاء من أرصاد وقياس كل قسم تحشى نقطه على المجموعة العمومية للخط وتحبىرها بالأحمر .

ح — تؤخذ صورتان من نقط القسم أحدهما على شفاف والأخرى على كلك مبنياً به النقط الأصلية بالأزرق والنقط الفرعية ونقط الأقسام المجاورة السابق رصدها بالأسود مع عمل ديباجة لها ومصطلح للرسم .



ط — بعد إتمام ما تقدم ترسل الأوراق للقسم المختص .

#### ١٠ — الترافرس المعلق — الأشعة :

أ — نقط الترافرس الفرعية التى توضع بالحارات والأزقة المسدودة وما أشبه تسمى ( ترافرس معلق — أشعة ) لعدم ربطها من جهتين وهذا النوع من الترافرس يجب إعادة رصد وقياس أضلاعه بمعرفة مهندس آخر وتدوين ذلك بدفتر خاص .

ب — إذا زاد الشعاع عن نقطة واحدة فيعتبر خطأ مستقلاً بنمرة خاصة مع تنمير نقطه بالتسلسل من آخر نقطة من الخط المرتبط — أما أن كان الشعاع نقطة واحدة فيعتبر ضمن الخط المرتبط به وتأخذ النقطة الرقم المسلسل بعد آخر رقم فيه .



القسم الثالث  
المساحة التاكيومترية

**Tacheometry**







## المساحة التاكيومترية

يتلخص موضوع القياس التاكيومتري في تحديد المسافات الأفقية والأبعاد الرأسية بين النقط المختلفة من واقع أرصاد من جهاز يسمى التاكيومتر بطرق سريعة وبدقة مقبولة دون اللجوء إلى عملية القياس المباشر .

وتعد المساحة التاكيومترية من أهم الطرق الأساسية المتبعة في القياسات الأفقية والرأسية . ومعنى كلمة ( التاكيومترية ) هو ( القياس السريع ) .

والتاكيومتر عبارة عن تيودوليت مجهز بتركيبات خاصة لايجاد المسافات والارتفاعات بإجراء بعض العمليات الحسابية ، وفي بعض الأجهزة يمكن الحصول على المسافات والارتفاعات إما بدون عمليات حسابية على الإطلاق أو بعمليات حسابية بسيطة جداً .

ومع التقدم والتطور في صناعة الأجهزة المساحية أمكن الحصول على دقة عالية جداً في بعض القياسات التاكيومترية كقضيبي الأنفار .

### أغراض المساحة التاكيومترية :

تستعمل المساحة التاكيومترية في أغراض مساحية كثيرة من أهمها :

١ — عمل خرائط كونتورية خاصة في الأراضي غير المستوية ( ذات الطبوغرافية الشديدة ) حيث يصعب أو قد يستحيل القياس المباشر .

٢ — رفع وبيان التفاصيل وخطوط الكونتور للمناطق المتسعة كمناطق التشجير ومصدات الرياح ومناطق استصلاح الأراضي ، أي تلك المناطق التي لا تتطلب دقة عالية .

٣ — التوقيع المبدئي للأعمال الهندسية وعمل القطاعات الطولية وكذلك تستعمل في المساحة المائية .



٤ — تعيين معدلات الانحدار للمشاريع الممتدة كالطرق بأنواعها وفي  
المجارى المائية وأعمال الصرف الصحى ومشاريع المياه .

٥ — قياس أطوال المضلعات حيث تحسب أطوال أضلاعها مع قياس الزوايا  
بين هذه الأطوال من موضع رصد واحد كما هو الحال فى إستعمال قضيب انفار  
مع التيودوليت الحديث .

٦ — تستخدم التاكيومترية بكفاءة عالية فى أعمال المساحة باللوحه  
المستوية ( البلانشيطة ) حيث توفر أعمال القياسات الطولية المباشرة وذلك  
باستخدام اليداد البلانشيطة كجهاز تاكيومتر .

### نظرية القياس التاكيومتري :

يمكن إستنتاج وتحديد المسافة الأفقية بين النقطة المثبت فوقها الجهاز  
المستعمل وأى نقطة أخرى معلومة وكذلك منسوب هذه النقطة الأخيرة  
بالنسبة لمستوى سطح الجهاز ( أو تحديد فرق المنسوين ) من واقع المعلومات  
التالية :

١ — الزاوية المقاسة بواسطة الجهاز والمقابلة لمسافة صغيرة معروفة عند  
النقطة المعلومة ( وهذه الزاوية إما أفقية أو رأسية ويطلق عليها زاوية  
البرالاكس ) والمسافة الصغيرة تعرف ( بالقاعدة ) أو ( المسافة المقطوعة )  
وهى تتنوع بتنوع الطرق والأجهزة المستخدمة ، فيمكن أن تكون اما مسافة  
مقطوعة على قامة رأسية أو مسافة أفقية مقروءة على قامة أفقية عند نقطة الهدف  
أو على نفس الجهاز .

٢ — زاوية إرتفاع أو إنخفاض النقطة من موقع الجهاز ، وزاوية البرالاكس  
يمكن أن تكون ثابتة القيمة أو متغيرة حسب نوع الجهاز والطريقة المستعملة .

والأساس الرياضى للقياس التاكيومتري هو تكوين مثلثات فراغية فى  
مستوى رأسى أو أفقى نحصل منها على المسافة وفرق المنسوب بين طرفى الخط  
المقيس .



## طرق المساحة التاكيومترية

يمكن تقسيم الطرق المستخدمة في التاكيومترية إلى مجموعتين أساسيتين :

### المجموعة الأولى

وهي الطرق التي تكون فيها القاعدة عند موضع الهدف ، وزاوية البرالاكس عند موضع الرصد . وتتميز طرق هذه المجموعة بأن دقتها عالية .

### المجموعة الثانية :

وهي الطرق التي تكون فيها القاعدة عند موضع الرصد وزاوية البرالاكس عند موضع الهدف . ويلاحظ أن طرق هذه المجموعة قليلة الدقة .

وكلا من المجموعتين تحتوى :

... أجهزة تاكيومترية زاوية البرالاكس بها ثابتة القيمة والقاعدة متغيرة .

... أجهزة تاكيومترية زاوية البرالاكس بها متغيرة القيمة والقاعدة ثابتة .

وسوف نتناول بالشرح الطرق المختلفة لكلا المجموعتين تفصيلاً . وهذه الطرق هي :

### طرق وأجهزة المجموعة الأولى :

١ — طريقة شعرات القياس ( شعرات الأستاذيا ) والأجهزة الخاصة بها لتبسيط العمليات الحسابية والعمل الحقلى .

٢ — طريقة الظلال : ( Tangent Method ) .

والأجهزة الخاصة بها لتبسيط العمليات الحسابية والعمل الحقلى .

٣ — طريقة قضيب الأنفار ( Subtense Bar )

٤ — طريقة منشور المسافة ( وتعتمد على نظام الصور المزدوجة ) والأجهزة الخاصة بها لتبسيط العمليات الحسابية والعمل الحقلى .



## طرق وأجهزة المجموعة الثانية

وجميع أجهزتها تعتمد على نظام الصور المزدوجة .  
ومن أمثلتها :

- ١ — جهاز التليوب والأجهزة المشابهة .  
وفيه تكون زاوية البرالاكس ثلاثة قيم متغيرة .
- ٢ — جهاز القاعدة المختزل ( BRT 006 ) والأجهزة المشابهة والذي فيه كل من زاويتي البرالاكس والقاعدة متغيرة القيمة .
- ٣ — جهاز تليمتر وجهاز موجد الميافات وجهاز ستريوتليمتر والأجهزة المشابهة وبها تكون زاوية البرالاكس متغيرة والقاعدة إما ثابتة أو متغيرة .



## الباب الثاني عشر

### طريقة شعرات الاستاديا

( Stadia Hair System )

تعتبر طريقة شعرات الاستاديا من أسهل الطرق وأكثرها استعمالاً خاصة في الأعمال التفصيلية التي لا تتطلب دقة عالية ، وإن كانت دقتها محدودة نظراً لتنوع الأخطاء بها .

في هذه الطريقة يستعمل تاكيومتر يزود دليله بشعرتين أفقيتين إضافيتين أعلى وأسفل الشعرة الأفقية الأساسية ( عادة أقصر منها في الطول ) وعلى بعدين متساويين من الشعرة الوسطى . ويطلق على هاتين الشعرتين اسم ( شعرتي الاستاديا ) . ومعظم التيودوليتات العادية وألبداد البلانسيطة مجهزة بمثل هذه الشعرات . ويستعمل مع التاكيومتر قامة عادية مدرجة كالمستعملة في الميزانية .

وفي طريقة شعرات الاستاديا تؤخذ الأرضاد والقراءات اللازمة لتعيين بعد وإرتفاع نقطة بتوجيه منظار الجهاز مرة واحدة إلى قامة رأسية موضوعة فوق هذه النقطة ، ثم تؤخذ قراءتا القامة عند شعرتي الاستاديا ومنها يمكن حساب المسافة بين محور المنظار وموقع القامة ، فإذا وضعت القامة على أبعاد مختلفة من المنظار فإن الجزء المقطوع على القامة والمحصور بين شعرتي الاستاديا يتغير تبعاً لذلك ، ويتوقف مقداره على بعد القامة من الجهاز وبذا فإن الجزء المقطوع على القامة يعتبر مقياساً للبعد بين القامة والجهاز وزاوية البرالاكس في هذه الحالة ثابتة القيمة .



## حساب المسافة الأفقية والبعد الرأسى

### أولاً - حالة النظرات الأفقية :

وهى الحالة التى لا يكون فيها زوايا إرتفاع أو إنخفاض ويكون فيها المنظار أفقياً أى خط النظر أفقياً ، أما الحالة العامة فالمنظار فيها يكون مائلاً ويتطلب الأمر حينئذ قياس زاوية إرتفاع أو إنخفاض خط النظر فى المنظار .

فى شكل ( ١١٠ ) :

- م : المركز البصرى للعدسة الشيئية      ا ، ح : شعرتا الاستاديا .  
 ب : الشعرة الأفقية الوسطى      ا ، ب ، ح : قراءات الشعرات .  
 س : البعد البؤرى للشيئية .  
 س<sub>١</sub> : المسافة الأفقية بين القامة والمركز البصرى للشيئية .  
 س<sub>٢</sub> : البعد الأفقى بين مركز الشيئية ومستوى حامل الشعرات .  
 ط : البعد الأفقى بين المركز البصرى للشيئية والمحور الرأسى للدوران .  
 هـ : المسافة المقطوعة على القامة بين شعرتى الاستاديا = ا ، ح<sub>١</sub> .

المثلثان ا ، م ، ح<sub>١</sub> ، ا ، م ، ح متشابهان :

$$\therefore \frac{س_١}{س} = \frac{هـ}{س_٢} \quad (١) \dots\dots$$

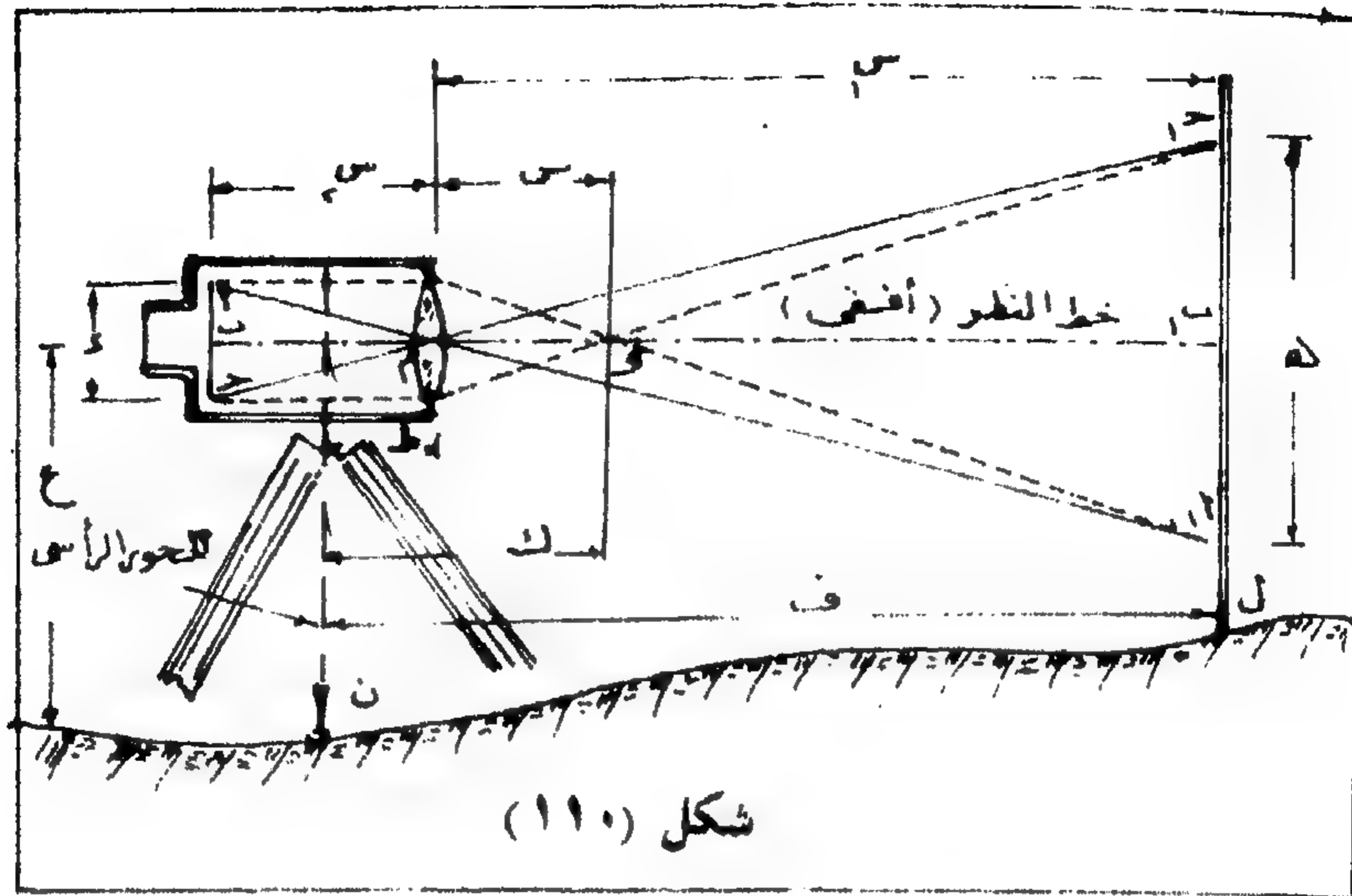
$$\text{ولكن } \frac{١}{س} = \frac{١}{س_١} + \frac{١}{س_٢} \text{ من قانون العدسات} \quad (٢) \dots\dots$$

حيث س<sub>١</sub> ، س<sub>٢</sub> بعدان لبؤرتين متبادلتين للشيئية .

وبضرب المعادلة (٢) فى س<sub>١</sub> س ينتج :

$$س_١ = س + \frac{س_١ س_٢}{س} \quad (٣) \dots\dots$$





وبتعويض قيمة  $\frac{س}{س_2}$  من المعادلة (١) في المعادلة (٢) ينتج :

$$س_1 = س + س \cdot \frac{هـ}{س_2} \quad (٤) \dots\dots$$

وبإضافة ط إلى كل من الطرفين ينتج أن :

(٦٤) \dots\dots

$$ف = هـ \cdot \frac{س}{س_2} + (س + ط)$$

حيث  $\frac{س}{س_2}$  ، ( س + ط ) قيم ثابتة للجهاز

ويسميان بالثابت التاكيومتري ( ث ) والثابت الإضافي ( ك ) على الترتيب .

والثابت التاكيومتري ث هو عادة ما يكون رقماً مناسباً ( ١٠٠ ، ٢٠٠ ،



٥٠ ( ) والثابت الاضافى ( ك ) يتراوح عادة بين ٣٠ ، ٦٠ سنتيمتر حسب نوع الجهاز .

$$\begin{aligned} & \text{المسافة الأفقية} = \text{الفرق بين قراءتى شعرتى الاستاديا} \times \\ & \text{الثابت التاكيومتري} + \text{الثابت الإضافى} \\ & \text{ف} = \text{ث ه} + \text{ك} \end{aligned}$$

(٦٥) .....

$$\begin{aligned} & \text{منسوب نقطة القامة} = \text{منسوب نقطة الجهاز} \\ & + \text{ارتفاع الجهاز} \\ & - \text{قراءة الشعرة الوسطى} \\ & \text{منسوب ل} = \text{منسوب ه} + \text{ع} - \text{ب} \end{aligned}$$

(٦٦) .....

ثانياً - حالة النظرات المائلة :

في هذه الحالة تؤخذ الأرصاد التالية :

١ - قراءات الشعرات الثلاث على القامة .

٢ - ( ن ) زاوية إرتفاع أو إنخفاض خط النظر عن الأفقى أثناء الرصد على القامة .

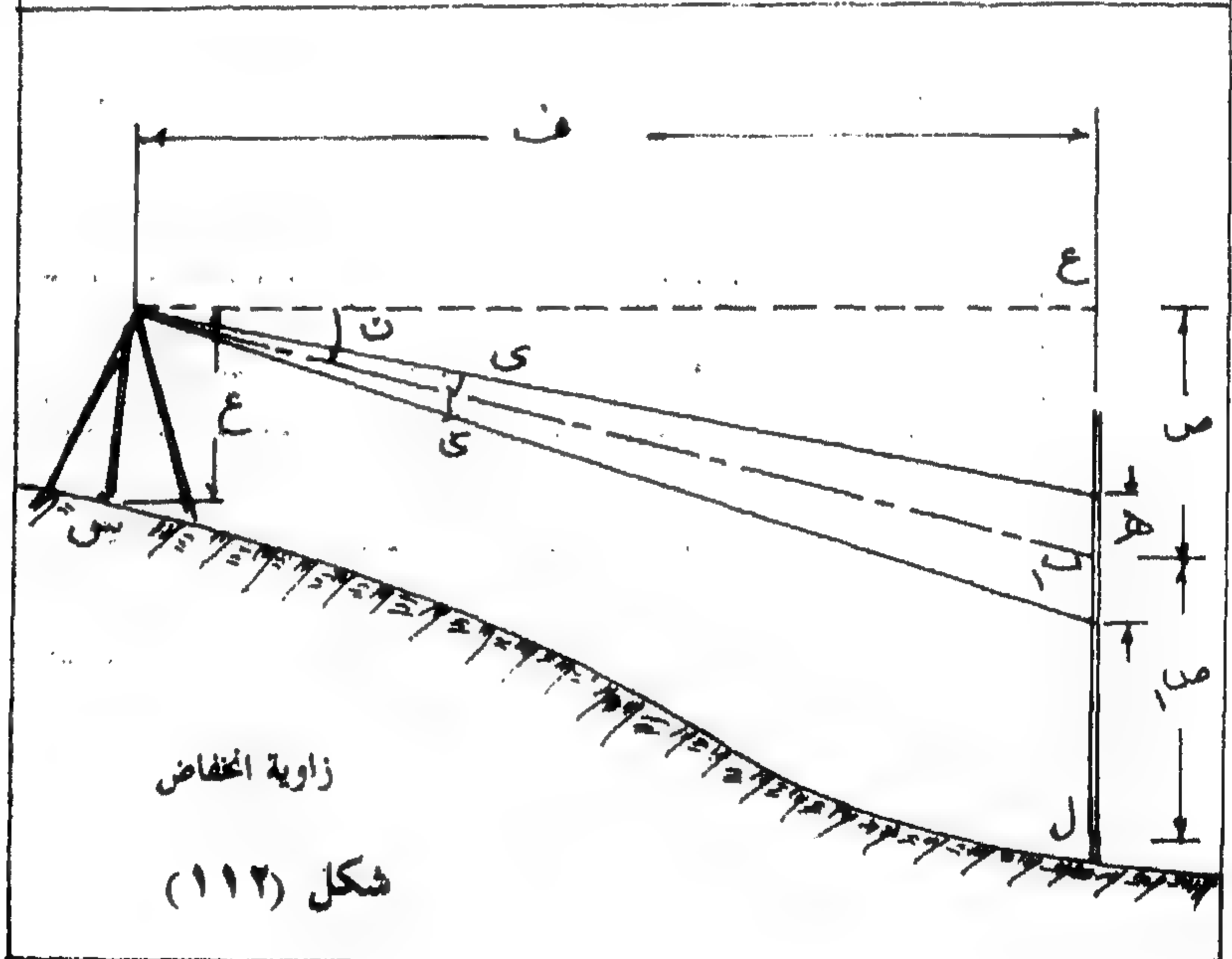
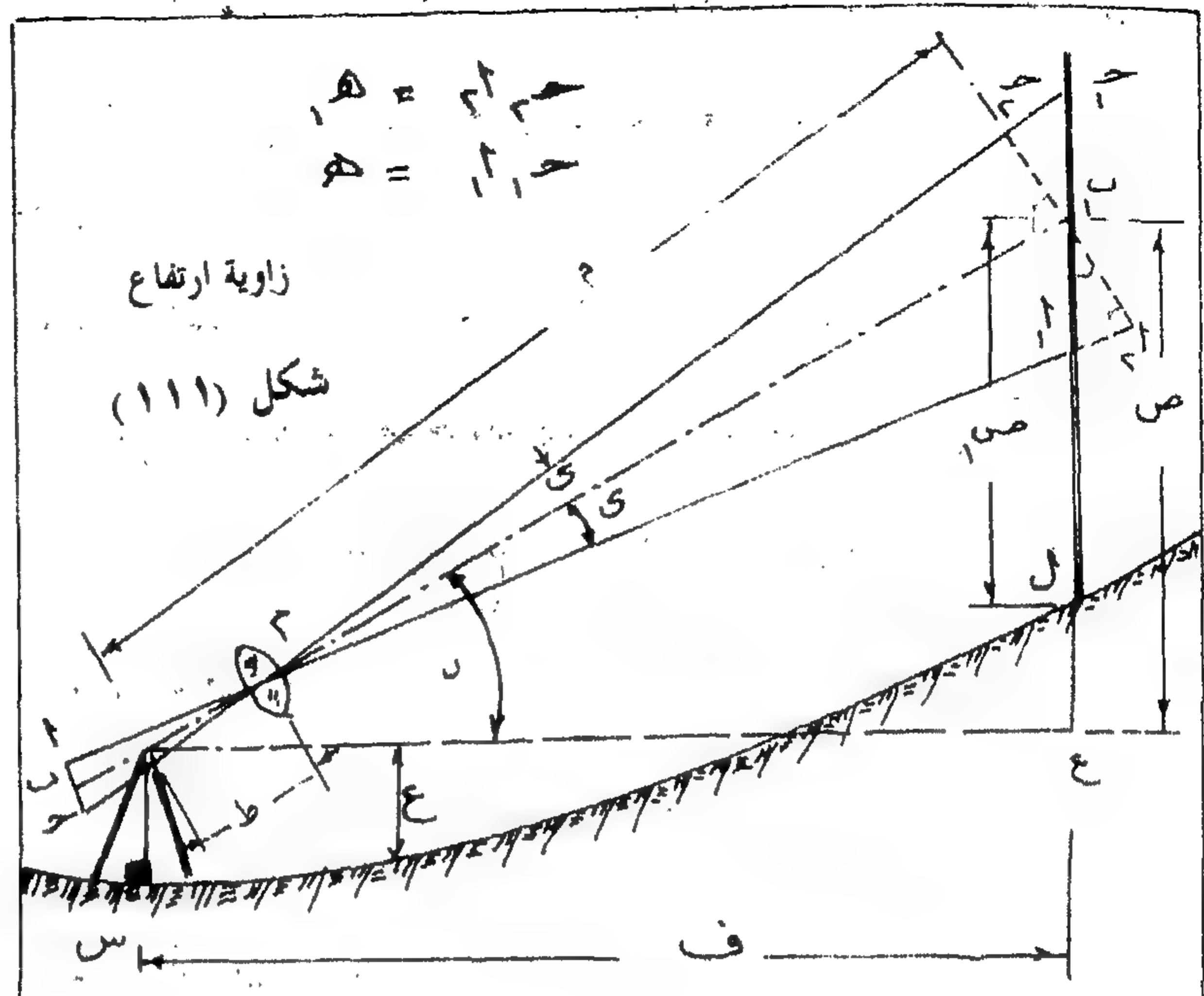
في شكل ( ١١١ ، ١١٢ ) .

م = المسافة المائلة بين المحور الرأسى للجهاز وبين ب ، نقطة تقاطع خط النظر مع القامة .

ص = البعد الرأسى بين سطح الجهاز ونقطة ب .

نفرض أن ا ب ، ح رسم عمودياً على م ب .







وبما أن الزاوية  $\angle \text{ب} \text{ا} \text{ن} = \angle \text{ا} \text{ب} \text{ن}$  ، الزاوية  $\angle \text{ا} \text{ب} \text{ن} = 90^\circ$  تقريباً .  
 لأن  $\angle \text{ا} \text{ب} \text{م} = \angle \text{م} \text{ب} \text{ن} = \angle \text{ب} \text{م} \text{ا}$  ، والزاوية الأخيرة صغيرة جداً  
 ويمكن إهمالها .

فيمكن اعتبار  $\angle \text{ا} \text{ب} \text{ن} = \angle \text{ا} \text{ب} \text{م} = \angle \text{م} \text{ب} \text{ن} = \angle \text{ب} \text{م} \text{ا}$  جتا ن  
 والواقع أن المعادلة الصحيحة بدون إجراء التقريب هي :  
 $\angle \text{ا} \text{ب} \text{ن} = \angle \text{م} \text{ب} \text{ن} = \angle \text{ب} \text{م} \text{ا} = \frac{\text{جتا ن}}{\text{جتا ن}} \cdot \text{ظا ن}$  ( والمقدار بين القوسين صغير  
 جداً ولهذا يمكن إهماله .

$$\text{م} = \frac{\text{س}}{\text{س}} = (\text{جتا ن}) + (\text{س} + \text{ط})$$

وحيث أن  $\text{ف} = \text{م} \text{جتا ن}$

$$\therefore \text{ف} = \text{س} = \frac{\text{س}}{\text{س}} = (\text{جتا ن}) + (\text{س} + \text{ط}) \text{جتا ن}$$

$\text{ف} = \text{ث} \cdot \text{ه} \cdot \text{جتا ن} + \text{ك} \cdot \text{جتا ن}$
---

(٦٧) .....

ولاحض أن منسوب النقطة ل ( موضع القامة ) .

نفرض أن  $\text{ع} \text{ب} \text{ا} = \text{ص} = \text{ف} \text{ظا ن}$

$$\text{ص} = \text{ه} \cdot \frac{\text{س}}{\text{س}} = \text{جتا ن} \text{جان} + (\text{س} + \text{ط}) \text{جان}$$

$$\text{ص} = \text{ث} \cdot \text{ه} \cdot \text{جتا ن} \text{جان} + \text{ك} \text{جان}$$



(٦٨) .....

$$\text{ص} = \frac{1}{2} \text{ ث هـ } . \text{ جا } 2 \text{ ن + ك جان}$$

(٦٩) ...

$$\begin{aligned} & \text{منسوب نقطة القامة ( في حالة زاوية الارتفاع )} \\ & = \text{منسوب نقطة الجهاز + ارتفاع الجهاز ( ع )} \\ & + \text{ص - قراءة الشعرة الوسطى ( ص } _1 \text{ )} \end{aligned}$$

(٧٠) .....

$$\begin{aligned} & \text{منسوب نقطة القامة ( في حالة زاوية الانخفاض )} \\ & = \text{منسوب الجهاز + ع - ص - ص } _1 \end{aligned}$$

مثال : رصدت قامة موضوعة فوق روير منسوبه ٨٠,٠٠ م فكانت قراءات  
الشعرات هي على التوالي ١,٠٠ ، ٢,٥٦ ، ٤,١٢ م وزاوية الانخفاض  
٢٢ ' ٥٠ . نقلت القامة إلى نقطة ب فكانت القراءات صفر ، ١,٨٨ ،  
٣,٧٦ م وزاوية الارتفاع ١٨ ' ٥٤ . أوجد المسافة الأفقية بين الجهاز ونقطة  
ب وكذلك منسوب ب إذا علم أن الثابت التاكيومتري = ١٠٠ والثابت  
الاضافي = ٣٠ سم .

عند الرصد على الروير :

$$\text{ص} = ( ١,٠٠ - ٤,١٢ ) \times ١٠٠ \times \frac{1}{2} \text{ جا } ٠.٤ ' ١١$$

$$+ ٠,٣ \text{ جا } ٣٢ ' ٥٥ .$$

$$= ٢٩,٩٤ + ٠,٠٢٩ = ٢٩,٩٧ \text{ متر}$$

$$\text{منسوب سطح الجهاز} = ٨٠,٠٠ + ٢,٥٦ + ٢٩,٩٧ = ١١٢,٥٣ \text{ متر}$$



المسافة الأفقية ف = ( ٣,٧٦ — صفر )  $\times$  جتا  $١٨^\circ ٥٤'$

+ ٠,٣ جتا  $١٨^\circ ٥٤'$

$$= ٣٧٣,٨٩ + ٠,٢٩٩ = ٣٧٤,١٩ \text{ متراً}$$

عند الرصد على النقطة ب =

ص<sub>١</sub> = ف ظا ن = ٣٧٤,١٩ ظا  $١٨^\circ ٥٤'$

$$= ٢٨,١٣٥ \text{ متر}$$

$$\text{منسوب ب} = ١١٢,٥٣ + ٢٨,١٣٥ - ١,٨٨$$

$$= ١٣٨,٧٨٥ \text{ متراً}$$

**العدسة التحليلية : ( Anallactic Lens )**

هى عبارة عن عدسة إضافية موجبة أحد سطحيها محدب والآخر مستوى وتوضع بين الشيئية وحامل الشعرات بفرض التخلص من الثابت الإضافى فى المعادلات السابقة وذلك بجعله مساوياً للصفر ؛ ومن ثم تبسط العمليات الحسابية إلى حد كبير .

### تعيين الثابت التاكيومتري والثابت الإضافى

فى المعادلات التاكيومترية ومشتقاتها يجب أن يكون الثابتان معلومين فى أى جهاز والثابتان يقدران فى المصنع ويكتبان داخل صندوق الجهاز .

وبالرغم من وجود قيمتى الثابتين داخل صندوق الجهاز فإنه يجب قبل العمل أن نعين قيمتهما الحقيقتين بقدر المستطاع . ولايجاد قيمة كل من الثابتين تتبع الخطوات التالية :

١ — نثبت الجهاز فوق نقطة ( أ ) مثلاً على أرض مستوية وتندق أوتاد أو شوك على أبعاد ٣٠ ، ١٠٠ ، ١٥٠ ، ٢٠٠ متراً وتقاس هذه المسافات بالشريط الصلب بدقة وعناية .

٢ — نأخذ قراءات شعرات الاستاديا بعناية تامة على كل قامة عند النقط



المختلفة ويفضل أن تكون موضوعة بحيث تواجه الشمس لتظهر واضحة تماماً ؛  
ويراعى عند القراءة أن تمحو خطأ الوضع تماماً عند التطبيق . وفى كل مرة  
نأخذ مجموعتين من الأرصاد بواسطة شخصين مختلفين للتحقيق ثم يؤخذ  
المتوسط .

٣ — تحسب  $h_1, h_2, h_3, h_4$  وهى المسافات المقطوعة على القامة  
فوق النقط المختلفة وإلى أقرب ملليمتر إذ أن الخطأ فى السنتيمتر الواحد فى قراءة  
القامة يقابله خطأ قدره متراً فى المسافة .

٤ — نعوض بالقيم التى حصلنا عليها فى معادلة المسافة الأفقية فنحصل على  
أربع معادلات آنية المجهول فيها الثابتان  $S$  ،  $(S + P)$  .

٥ — إذا لم نتمكن من أخذ نظرات أفقية فنأخذ نظرات مائلة ونطبق  
المعادلات الخاصة بها .

٦ — يجب أن نأخذ أكثر من مسافتين للتحقيق كل بيننا وإليه إذ كان يكفى  
مسافتين فقط .

٧ — نحل كل زوج من المعادلات مع بعضنا بعضاً فنحصل على عدة قيم ويجب ألا  
تختلف عن بعض بأكثر من نصف فى المائة نتيجة منه راحة بالاً وليس بها .  
٨ — نأخذ متوسط القيم الناتجة لتستعمل فى الجهاز .

٩ — إذا كانت الدقة المطلوبة كثيرة يستحسن إيجاد قيمة  $S$  عدة مرات

تحت ظروف جوية مختلفة وفى مختلف ساعات النهار ، واختلاف تأثير الانكسار  
على قراءتى شعرات الاستاديا يعتبر مصدر خطأ هام فى إيجاد قيمة  $S$  ، ففى

المنطقة القريبة من سطح الأرض تتغير كثافة طبقات الهواء بسرعة تبعاً لبعدها  
عن الأرض وتبلغ ذروة الانكسار فى ساعات منتصف النهار ويقل منه فى  
الأدنى فى الصباح الباكر وعند الغروب .



## تأثير الانكسار الجوى

يجب عدم جعل القراءة السفلى قريبة من سطح الأرض عموماً حيث يزيد معدل التغير الحرارى فى المنطقة القريبة من سطح الأرض وحتى ارتفاع متر ونصف ، وهذا يحدث انكسار جوى كبير للشعاع الضوئى فى هذه المنطقة مما يسبب خطأ كبير فى القراءة السفلى لسعرات الاستاديا . لذا يجب أن لا تؤخذ القراءات فوق هذه المنطقة أو على هذا الارتفاع فى الأيام الحارة المشمسة ، أما فوق هذا الارتفاع فإن هذا التأثير يقل بدرجة ملحوظة وبدلاً من أن يقرأ القراءات كثيراً .

## أجهزة خاصة لتبسيط العمليات الحسابية

### فى طريقة شعرات الاستاديا

هذه الأجهزة أو التركيبات تعتمد على أساس فكرة شعرات الأساديا . وسواء أكان المنظار مجهزاً بعدسة تحليلية أو بدونها فإن تعيين المسافة الأفقية والعدد الرأسى يحتوى على كثير من العمليات الحسابية المملة ، وقد جهزت بعض الأجهزة حديثاً بتركيبات أو صنعت بطريقة خاصة لتبسيط هذه العمليات إلى أقصى حد ممكن أو لقراءة المسافات الأفقية والأبعاد الرأسية مباشرة ، وتعرف هذه الأجهزة ( بالتاكيومترات المختزلة ) .

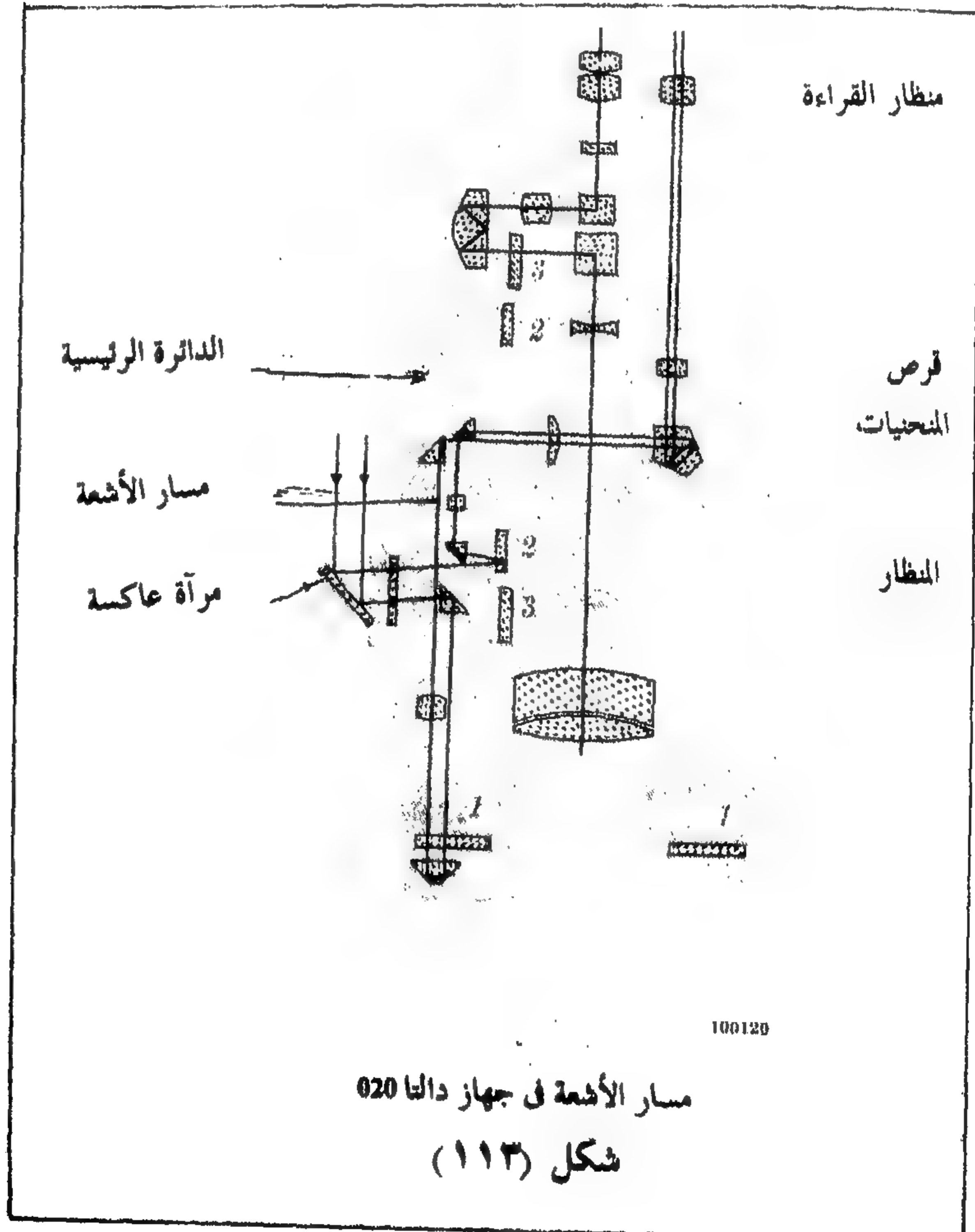
### التاكيومترات المختزلة

يعتبر ( E. Hammer ) أول من ابتكر نظريات لإحلال المنحنيات بدلاً من شعرات الاستاديا وقد أنتجت شركته ( فيل ) الألمانية أول جهاز تاكيومتر مزود بالمنحنيات وفكرتها هى الاستعاضة عن الشعرات بمنحنيات تعطينا مباشرة المسافات والأبعاد الرأسية دون الحاجة إلى استعمال جيوب وجيوب تمام الزوايا الرأسية وفيما يلى بعض الأنواع الشائعة الاستعمال :



# ١ - تاكيومتر دالتا ( زاييس ) ( Dahlta 020 )

هو أحد الأجهزة التاكيومترية ويمكن بواسطته تعيين المسافات الأفقية وفروق المناسيب مباشرة بدون عمليات حسابية وهو مزود بمنحنيات ( تعرف بمنحنيات الاختزال ) محفورة على قرص زجاجي يدور مع المنظار بدلاً من شعرات الاستاديا الثابتة وتظهر هذه المنحنيات واضحة عند مستوى حامل الشعرات وذلك بواسطة مجموعة من المنشورات وشكلاً ( ١١٣ ، ١١٤ ) يوضحا تاكيومتر زاييس دالتا ومسار الأشعة به . والمنحنيات والخطوط الموجودة بهذا الجهاز هي :





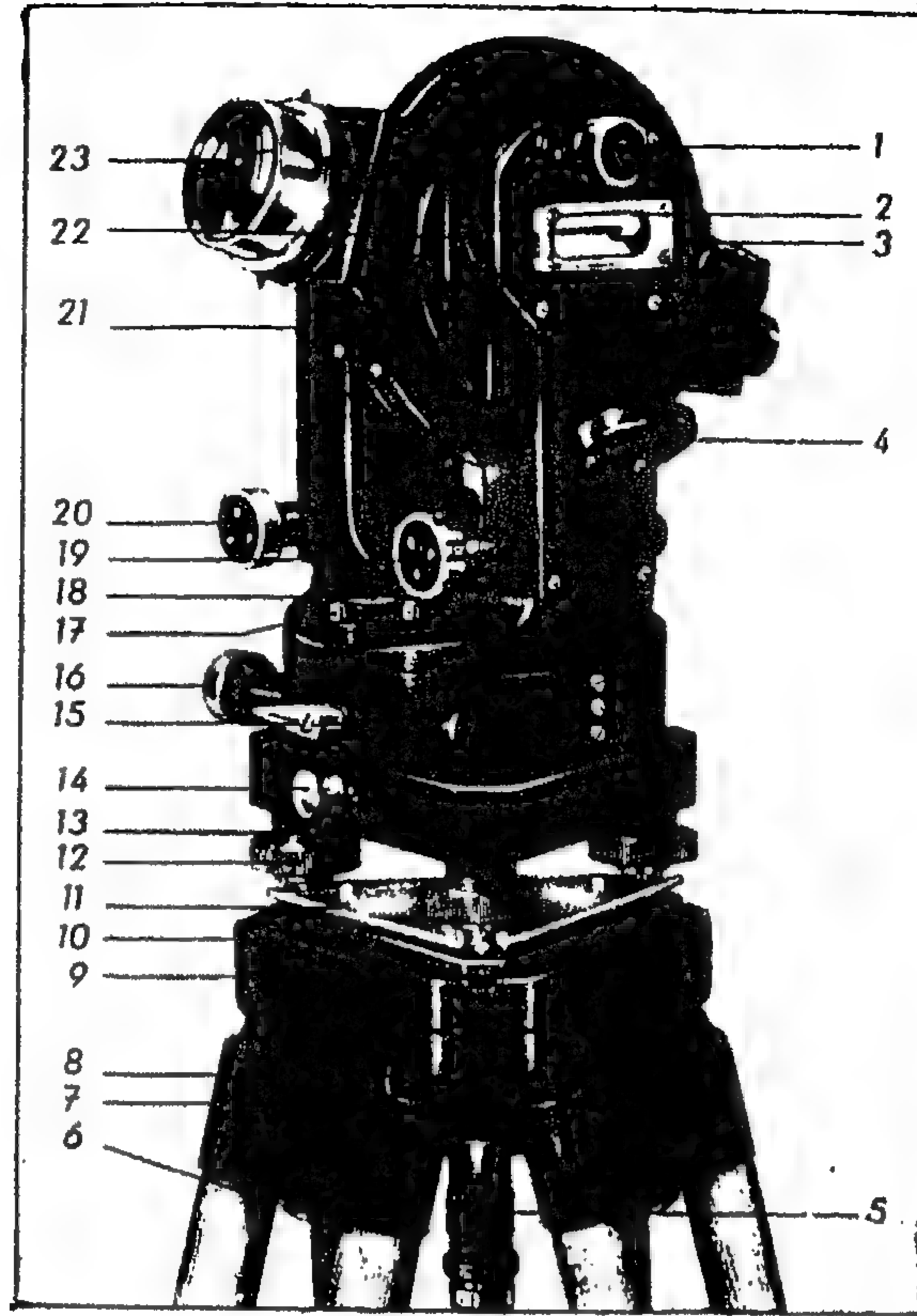


Bild 1. Dahn 020 (Objektivseite)

100200b

- ٢ — ميزان التسوية الخاص بالدائرة الرأسية
- ٤ — مرآة عاكسة خاصة بالدائرة الأفقية
- ٥ — قضيب تسامت
- ٩ — حامل ثلاثي .
- ١٣ — مسمار التسوية .
- ١٥ — مسمار حركة سريعة .
- ١٦ — مسمار الحركة البطيئة .
- ١٨ — ميزان التسوية الخاص بالدائرة الأفقية .
- ٢١ — علبة المنحنيات .
- ٢٣ — العدسة الشيئية .

جهاز الدالتا 020  
شكل ( ١١٤ )



منحنى الصفر ، منحنى المسافات ، ومنحنى الارتفاعات علاوة على شعرة رأسية ثابتة لتحديد القامة كما يوجد شعرتا استاديا أعلا حامل الشعرات والثابت التاكيومتري لها هو ٢٠٠ ، وتستعمل هذه الشعرات عند إختفاء المنحنيات في حالات زوايا الارتفاع والانخفاض الكبيرة ( أكبر من ٥٤٠ ) .

ويقوم منحنى الصفر مقام الشعرة الوسطى في التاكيومتر العادى أى أن قراءة منحنى الصفر يعتبر قراءة الشعرة الوسطى . وثابت المسافات الأفقية هو ١٠٠ والمعامل ك للأبعاد الرأسية هو  $10 \pm$  ،  $20 \pm$  ،  $100 \pm$  شكل ( ١١٥ ) .

ولرؤية هذه المنحنيات فى وضعها الصحيح يجب أن تكون الدائرة الرأسية على يسار الراصد ودائرة المنحنيات على يمينه أى يكون الجهاز متياسر ، وبالرصد على قامة الدالتا الرأسية وبجعل منحنى الصفر منطبقاً على صفر القامة يمكن قراءة القيمة ف جتا<sup>٢</sup> ن مباشرة على القامة مهما كان خط النظر مائلاً إلى أعلا أو إلى أسفل . ومنحنى المسافة يتكون من منحنى يمثل جتا<sup>٢</sup> زاوية الميل تبدأ قيمته بالوحدة وذلك عندما يكون خط النظر أفقياً تماماً ويقترّب من منحنى الصفر مع إرتفاع أو إنخفاض المنظار ، والمسافة بين منحنى الصفر ومنحنى المسافات تتغير تبعاً للمعادلة .

$$\frac{\text{س جتا}^2 \text{ ن}}{\text{ك} \pm \frac{1}{2} \text{ جتا}^2 \text{ ن}} = 1 \quad \text{..... (٧١)}$$

حيث ١ = المسافة بين منحنى الصفر ومنحنى المسافات .  
 س = البعد البؤرى للمنظار .  
 ن = الزاوية الرأسية .  
 ك = العدد الثابت ١٠٠ .



والإشارة الموجبة لزوايا الأرتفاع والسالبة للأخفاض . هذا ويمكن استعمال قامة عادية مع الجهاز وجعل منحنى الصفر على أى قراءة .

أما مجموعة المنحنيات الخاصة بتعيين فرق الأرتفاع صر فهي منحنيات تمثل جا ٢ ن وهي تبدأ من الصفر وتزايد مع تغير زاوية الأرتفاع أو الإخفاض ويتغير ثابتها من ١٠ إلى ٢٠ إلى ١٠٠ وتتغير المسافة بين منحنى الصفر ومنحنى فرق الأرتفاع تبعاً للمعادلة .

$$\frac{\frac{1}{\text{س جا } 2 \text{ ن}}}{\text{ك} \pm \text{جا } 2 \text{ ن}} = \text{ب} \quad \text{..... (٧٢)}$$

حيث ب = المسافة بين منحنى الصفر ومنحنى فرق الأرتفاع .

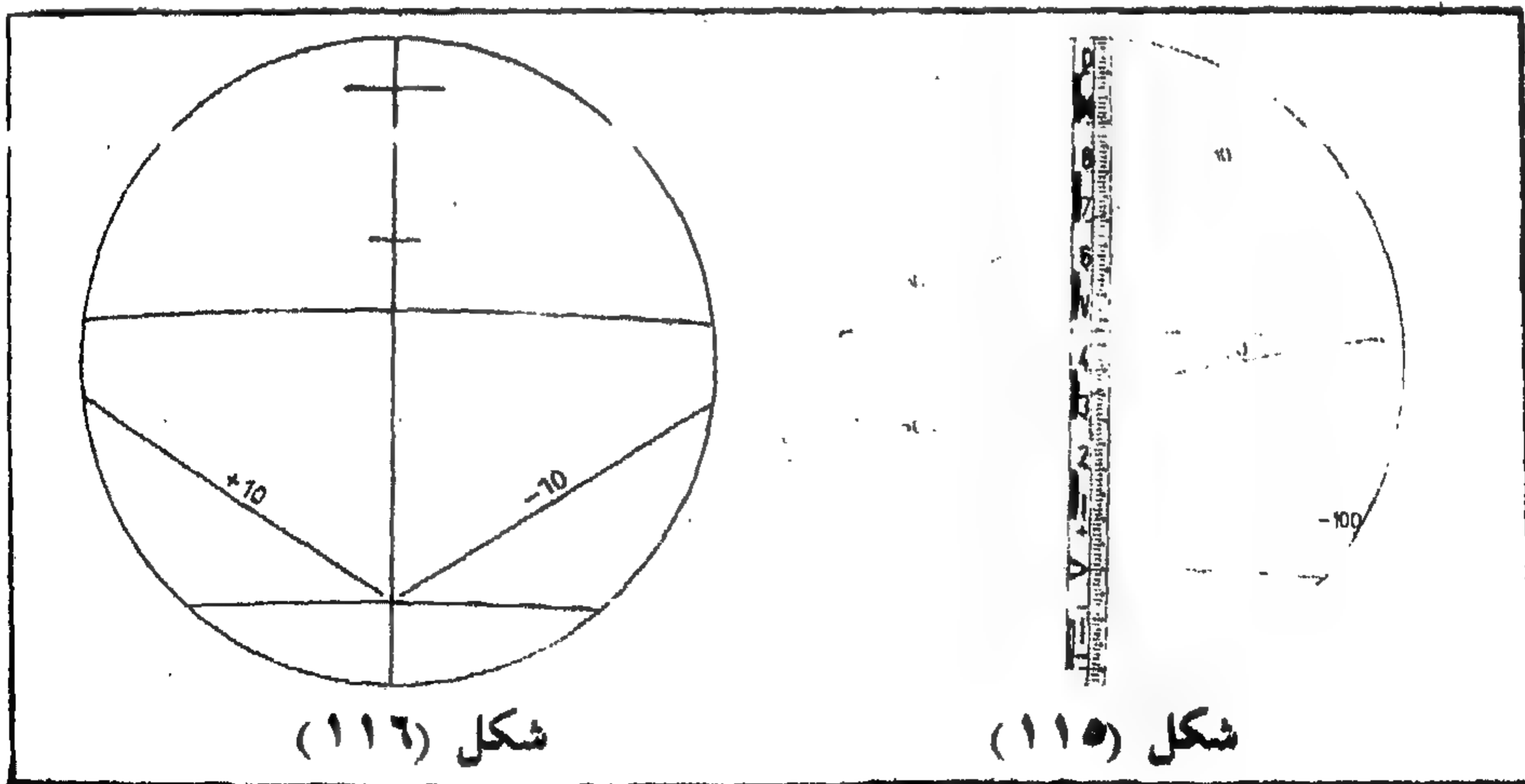
س = البعد البؤرى لشيئية المنظار .

ن = الزاوية الرأسية .

ك = العدد الثابت المستعمل فى كل حالة ١٠ أو ٢٠ أو ١٠٠ .

والإشارة الموجبة لزوايا الأرتفاع والسالبة للأخفاض . وشكل ( ١١٦ )

يمثل مجال المنظار فى جهاز دالتا وهو فى وضع أفقى ..





## قائمة جهاز دالتا .

يستعمل مع جهاز دالتا قائمة خاصة به مبينة في شكل ( ١١٧ ) وصفر تدريجها على إرتفاع ١,٤٠ عن القاعدة وهي مدرجة إلى سنتيمترات وديسيمترات من هذا الصفر إلى أعلى باللون الأسود بالإشارة ( + ) ، وإلى أسفل باللون الأحمر بالإشارة ( - ) . ويجب مراعاة الإشارات عند استعمال الجزء الأسود أو الجزء الأحمر كما يمكن استعمال قائمة عادية مع الجهاز .

مثال على استعمال جهاز دالتا : شكل ( ١١٥ ) يبين مجال المنظار وهو موجه إلى قائمة فوق نقطة ب من جهاز دالتا فوق نقطة أ — أحسب المسافة الأفقية أ ب ومنسوب ( ب ) ، علماً بأن زاوية إنخفاض المنظار ٢٣' ٥٨" ومنسوب أ = ١٠,٠٠ متر وإرتفاع الجهاز ١,٤٥ م .

## الحل :

منحنى الصفر	يقرأ صفر
منحنى المسافة	يقرأ ٠,٤٧٦ متر

المنحنى الصادي معامل — ١٠ يقرأ ٠,٧٠٢ متر

المنحنى الصادي معامل — ٢٠ يقرأ ٠,٣٥١ متر

شعرتا الاستاديا بالجهاز ( ثابتة = ٢٠٠ ) تقرأ ٠,٦٢٩ ،  
٠,٨٧٢ متر

المسافة الأفقية ف = ١٠٠ ( ٠,٤٧٦ - صفر ) =  
٤٧,٦ مترا

شكل ( ١١٧ )

باستعمال ( منحنى ص العلوى )

ص = ١٠ - ( ٠,٧٠٢ - صفر ) = ٧,٠٢ مترا



## وللتحقيق :

$$\begin{aligned} & \text{باستعمال (منحنى ص السفلى) ص} = 20 - (0,351 - \text{صفر}) = 7,02 \text{ مترا} \\ & \text{باستعمال شعرتى الاستاديا ف} = 200 (0,872 - 0,629) \text{ جتا } 23^\circ 58' \\ & = 200 \times 0,234 \times 0,9893 = 47,6 \text{ مترا} \\ & \text{ص} = \text{ف ظا ن} = 47,6 \times (0,147) \\ & = 7,02 \text{ مترا} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{منسوب ب} = 10,00 + 1,45 - 7,02 - 1,40 = 3,03 \text{ مترا} \\ & \text{وإذا فرضنا أن منحنى الصفر كان منطبقاً على القراءة} - 0,40 \text{ ( فى الجزء} \\ & \text{الأحمر السفلى ) فإن :} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{ف} = 100 [ (0,40 - ) - 0,476 ] = 87,6 \text{ مترا} \\ & \text{ص} = 10 [ (0,40 - ) - 0,702 ] = 11,02 \text{ مترا} \\ & \text{منسوب ب} = 10,00 + 1,45 - 11,02 - (0,40 - 1,40) = 0,07 \text{ م} \\ & \text{وهناك أجهزة أخرى مثل تاكيومتر كيرن DKRV ، تاكيومتر RDS وايلد .} \end{aligned}$$

## ٢ — تاكيومتر (RDS) وايلد :

يستعمل معه أيضاً قامة رأسية والصورة فيه تكون معتدلة داخل المنظار وفكرة الجهاز كالسابق تماماً وتوجد به ثلاثة منحنيات الأول وهو المنحنى الأسفل ويسمى ( منحنى الصفر ) والأوسط لقياس فرق الارتفاعات والعلوى لقياس المسافات الأفقية كما هو مبين فى شكل ( ١١٨ ، ١١٩ ) .

## استعمال الجهاز :

١ — يوجه المنظار نحو قامة فوق النقطة المراد إيجاد بعدها عن الجهاز وكذلك منسوبها .

٢ — نجعل منحنى الصفر يقطع القامة عند القراءة ١,٠٠ متر ( صفر



تدرج القامة ) وتدون قراءتى المنحنيين الآخرين على القامة ( يمكن أخذ أى قراءة أخرى صحيحة غير ١,٠٠ متر ) .

٣ — المسافة الأفقية ف = ١٠٠ × ( الفرق بين قراءتي منحني الصفر ومنحني المسافات العلوي ) .

٤ — البعد الرأسى ص = المعامل ك × ( الفرق بين قراءتى منحنى الصفر ومنحنى الارتفاعات ) .

وقيم المعامل  $k = 10$  للزوايا بين صفر° إلى ٥٥° .

۲۰ = للزوايا بين ٤٠ إلى ١٠٠ .

ك = ٥٠ للزوايا ٥٩ إلى ٥٢٣ .

== ١٠٠ للزوايا بين ٥٢٢ إلى ٥٤٤ .

هذا المعامل مكتوب على المنحنى ولكن بدلاً من كتابة ١٠ ، ٢٠ ، ٥٠ ،  
١٠٠ كتب ١ ، ٢ ، ٠ ،  $\frac{1}{2}$  ، ١ شكل ( ١١٨ ) ، شكل ( ١١٩ ) لزوايا

الارتفاع ، أما لزوايا الانخفاض فتغير الإشارة إلى ( - ) .

فی شکل (۱۱۸) :

ف = ۳, ۴ م .

$$\text{ص} = ۰,۱ \times ۲۱,۷ = ۲,۱۷ \text{ م.}$$

فی شکل (۱۱۹) :

ف = ۳۵,۵ م .

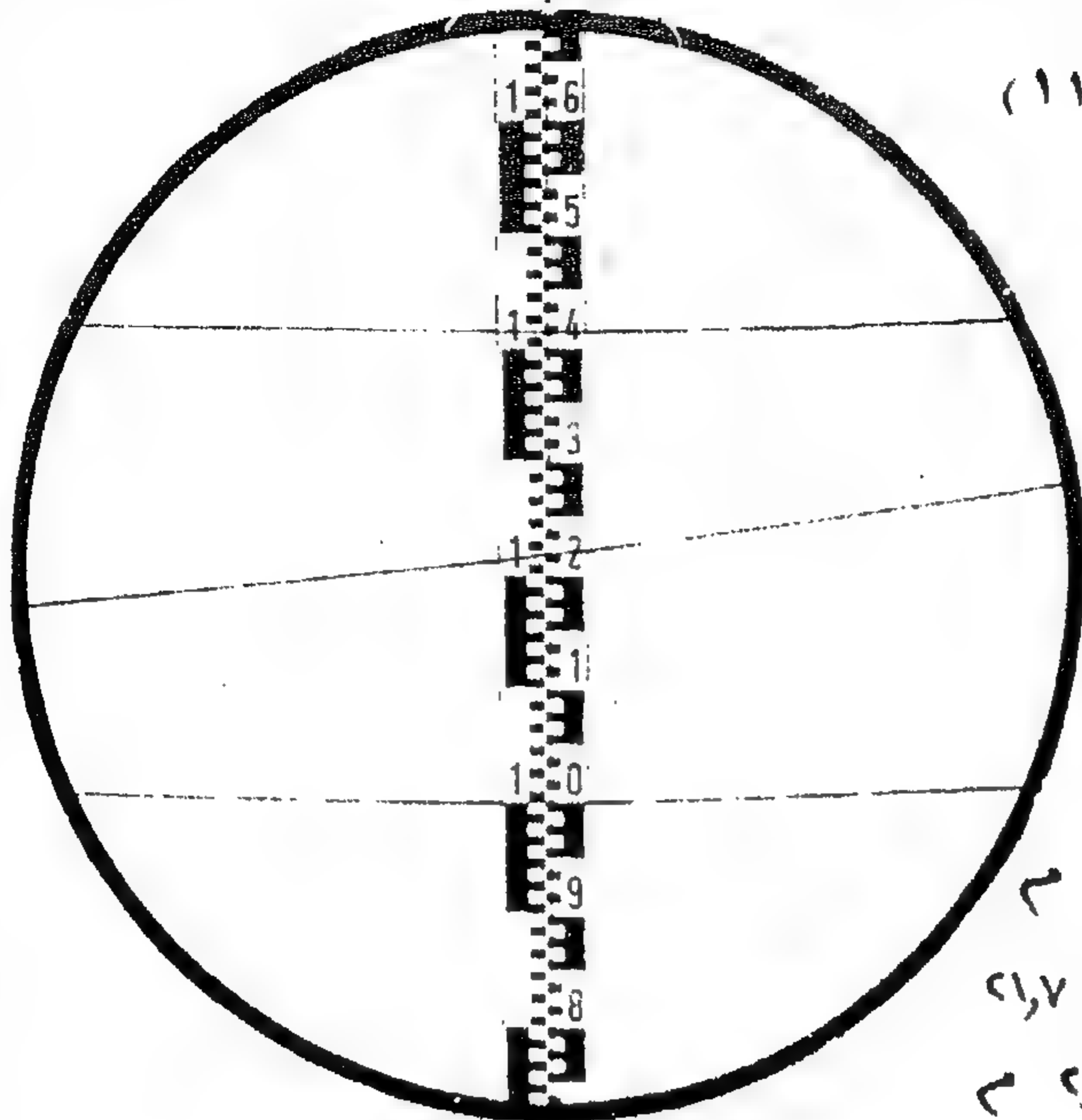
$$\text{ص} = 10,9 \times \frac{1}{2} + 21,8 = 32,7$$

**ملحوظة :**

قراءة المنحني السفلي (١) متر هي قراءة الشعرة الوسطى .

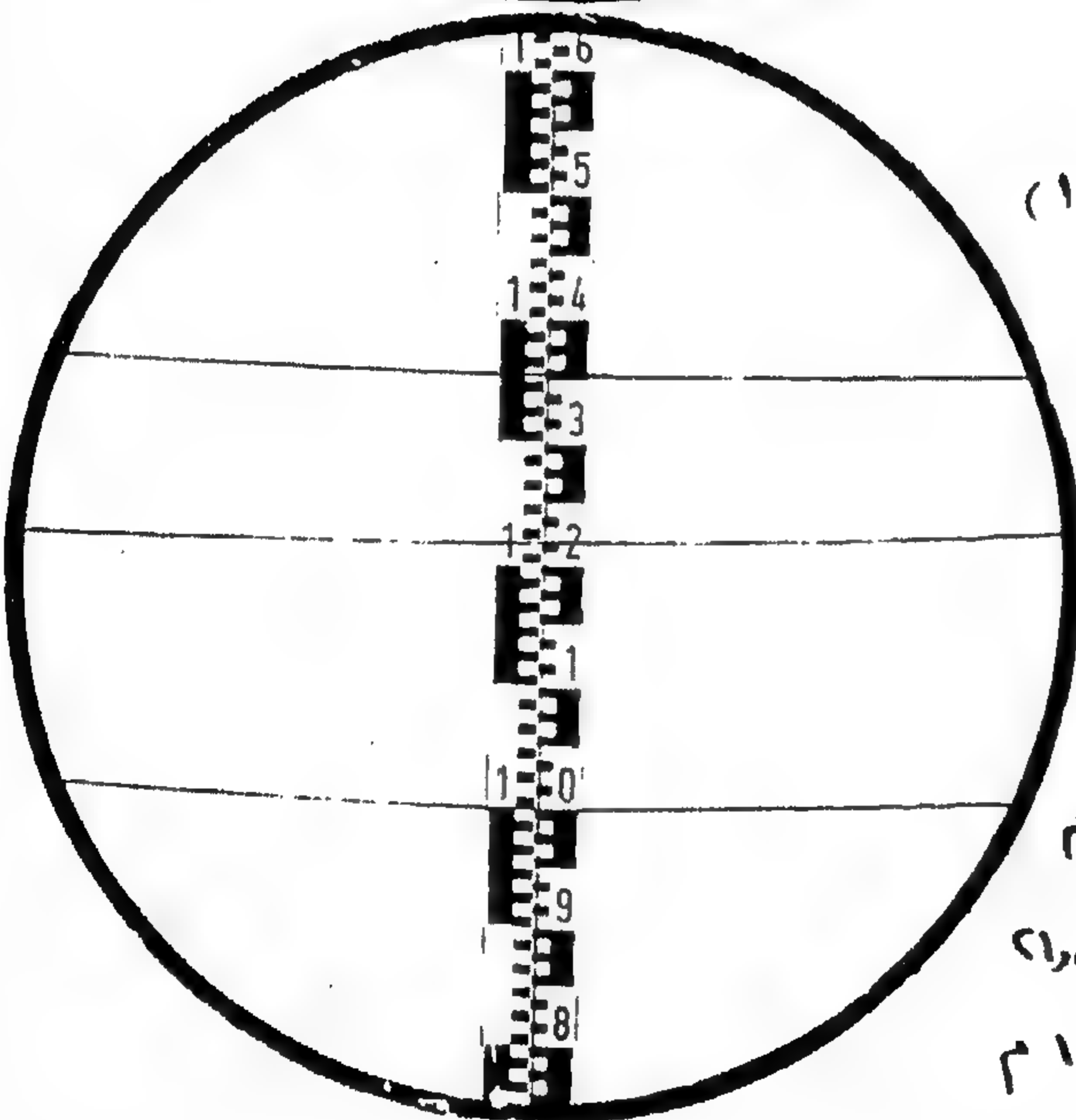


شکل (۱۱۸)



ف = ۳٫۲ م  
ص = ۱٫۷ × ۲٫۷  
= ۴٫۷ م

شکل (۱۱۹)



ف = ۳٫۵ م  
ص = ۱٫۸ × ۱٫۸  
= ۳٫۲ م



$$\text{منسوب ب} - ١٤,٣٨ + ١,٤٥ + ٣,٦ - ٠,٢٦ - ١,٠٠ = ١٨,١٧ \text{ متراً}$$

ويلاحظ أن صفر القامة في شكل ( ١١٨ ، ١١٩ ) يرتفع بمقدار متر واحد عن تدريج القامة . ويمكن إستعمال قامة عادية مع الجهاز .







## الباب الثالث عشر طريقة الظلال

( Tangent System )

يمكن في هذه الطريقة تعيين المسافة الأفقية والبعد الرأسى باستعمال تيردوليت عادى والأرصاد المطلوبة هي الزاوية الرأسية التى رأسها عند الجهاز ووترها مسافة معلومة بين هدفين ثابتين على قامة أو شاخص ، وهذا يتطلب توجيه المنظار مرتين على القامة الموضوعة رأسياً فوق النقطة المطلوب إيجاد بعدها وتقرأ الشعرة الوسطى على القامة وقيمة الزاوية الرأسية فى كل مرة .

نفرض أن المطلوب إيجاد المسافة الأفقية ( ف ) بين نقطتين مثل ( س ، م ) الأشكال ( ١٢٠ ، ١٢٣ ) وكذلك الفرق بين منسوبيهما . نضع القامة رأسية فوق أحدهما ولتكن ( س ) والجهاز فوق ( م ) .

### حالات طريقة الظلال

أولاً — عندما تسمح طبيعة الأرض بقراءة القامة وخط النظر أفقى :

نأخذ نظرة أفقية ( س ب ) إلى قامة فى نهاية الخط عند ( س ) ثم نظرة مائلة ( س أ ) إلى أعلى شكل ( ١٢٠ ) أو إلى أسفل ( ١٢١ ) حسبما تسمح به طبيعة الأرض . نعين زاوية الارتفاع ( فى الحالة الأولى ) أو زاوية الانخفاض ( فى الحالة الثانية ) .

نفرض أن ب القراءة على القامة وخط النظر أفقى .

ا = القراءة على القامة وخط النظر يميل على الأفقى بزاوية قدرها ( ن ) .  
هـ = الفرق بين القراءتين أو الهدفين الثابتين على القامة .



$$(٧٣) \dots \frac{المسافة الأفقية}{ظاه} = \frac{قراءة أ - قراءة ب}{ظاه} = \frac{ه}{ظاه}$$

$$(٧٤) \dots منسوب س = منسوب م + إرتفاع الجهاز - القراءة$$

ثانياً - عندما لا تسمح طبيعة الأرض بأخذ نظرات أفقية :

- ١ - نوجه المنظار إلى القامة أولاً بزاوية ميل ( ه ) وتدون قراءة القامة .
- ٢ - نغير زاوية الميل ولتكن ( ي ) وتدون القراءة الناتجة على القامة وفي شكل ( ١٢٢ ، ١٢٣ ) .

$$ا ط = ف ظاه ، ب ط = ف ظاى$$

$$ا ط - ب ط = ه = ف ( ظاه - ظاى )$$

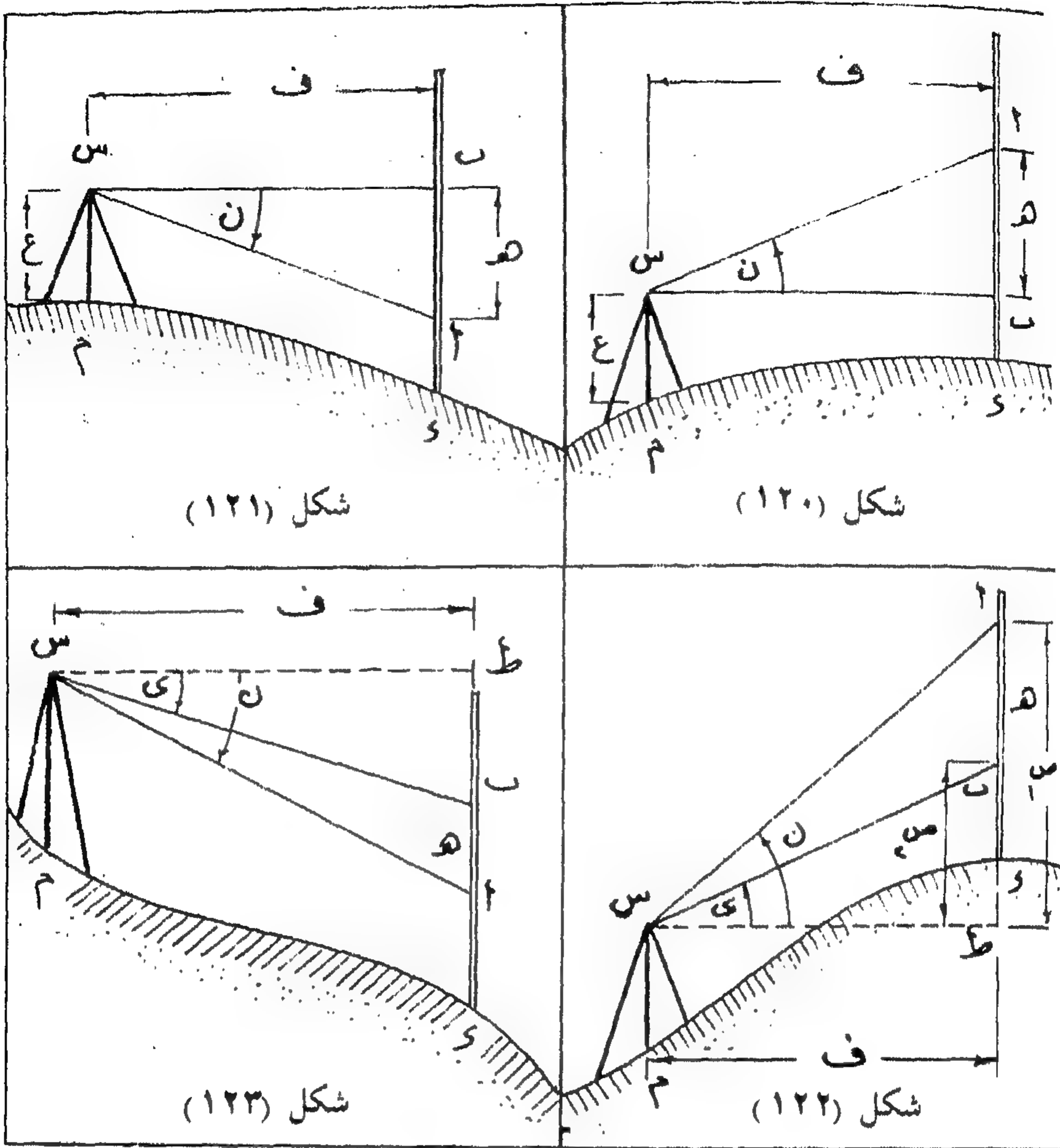
$$(٧٥) \dots \frac{المسافة الأفقية}{ظاه - ظاى} = \frac{قراءة أ - قراءة ب}{ظاه - ظاى} = \frac{ه}{ظاه - ظاى}$$

$$ص١ = ف ظاه ، ص٢ = ف ظاى$$

ولو كانت الزاويتان ه ، ي أحدهما زاوية إرتفاع والأخرى إنخفاض .

$$(٧٦) \dots \frac{ف}{ظاه + ظاى} = \frac{ه}{ظاه + ظاى}$$





وفي حالة زاوية إرتفاع :

منسوب  $s$  = منسوب  $m$  + إرتفاع الجهاز (  $ع$  ) +  $ف$  ظا  $ي$  -  $ب$  و

أو = منسوب  $m$  + إرتفاع الجهاز +  $ف$  ظا  $هـ$  -  $ا$  و

(۷۷) .....



وفي حالة زاوية انخفاض :

$$\text{منسوب } \delta = \text{منسوب م} + \text{ارتفاع الجهاز} - \text{ف ظا } \gamma - \text{ب } \delta$$
$$\text{أو} = \text{منسوب م} + \text{ارتفاع الجهاز} - \text{ف ظا } \delta - \text{ا } \delta$$

(٧٨) .....

مثال :

وضع جهاز في نقطة ح وكانت زاويتا ارتفاع نقطتين على قامة فوق ب هما  
١٤ ' ٥٢ ، ٣٦ ' ٥٥ عندما كانت قراءة القامة ٠,٢٠ ، ١,٢٠ مترا على  
الترتيب . ما هي المسافة الأفقية ح وما منسوب ب إذا كان منسوب ح =  
١٣٧,١٤ مترا وارتفاع الجهاز = ١,٥٠ متر ؟.

الحل :

$$\text{ف} = \frac{٠,٢٠ - ١,٢٠}{\text{ظا } ٣٦' ٥٥ - \text{ظا } ١٤' ٥٢} = ١٦,٩٣ \text{ مترا}$$

$$\text{ص} = ١٦,٩٣ \text{ ظا } ١٤' ٥٢ = ٠,٦٦ \text{ مترا}$$

$$\text{منسوب ب} = ١,٥٠ + ١٣٧,١٤ + ٠,٦٦ - ٠,٣٠ = ١٣٩,١٠ \text{ مترا}$$

ولتحقيق العمل :

$$\text{ص}_١ = ١٦,٩٣ \text{ ظا } ٣١' ٥٠ = ١,٦٦ \text{ مترا}$$

$$\text{منسوب ب} = ١٣٧,١٤ + ١,٥٠ + ١,٦٦ - ١,٢٠ = ١٣٩,١٠ \text{ مترا}$$

ثالثاً - عند تثبيت المسافة المقطوعة على القامة :

ويطلق على هذه الطريقة طريقة القاعدة الرأسية وفيها تثبت المسافة المقطوعة  
على القامة هـ . وتتغير الزاويتان الرأسيتان هـ ، ي حسب طول المسافة الأفقية  
وفرق الارتفاع .



في شكل ( ١٢٠ ) :

$$\frac{ه}{\text{ظاه} - \text{ظاي}} = \text{ف}$$

في المثلث ا س ط :

$$\frac{ه}{\text{جا} (ه - ي)} = \frac{\text{ف} / \text{جتاي}}{\text{جا} (ه - ٩٠)} \text{ أو } \frac{ه}{\text{جتاه} - \text{جتاي}} = \frac{\text{ف}}{\text{جا} (ه - ي)}$$

..... (٧٩)

$$\therefore \text{ف} = ه \text{ جتاه جتاي قتا} (ه - ي)$$

وغالباً تأخذ ه ( المسافة المقطوعة على القامة ) مساوية ١ متر .

وفي المثال السابق وبتطبيق هذه المعادلة نجد أن :

$$\text{ن} = ٣٦' ٥٥ \text{ ي} = ١٤' ٥٢ \therefore ه - ي = ٢٢' ٥٣ \text{ ه} = ١ \text{ متر}$$

$$\therefore \text{ف} = ١ \times \text{جتا} ٣٦' ٥٥ \times \text{جتا} ١٤' ٥٢ \text{ قتا} ٢٢' ٥٣$$

$$= ١ \times ٠,٩٩٥٢٣ \times ٠,٩٩٩٢٤ \times ١٧,٠٢٨$$

$$= ١٦,٩٣ \text{ مترا}$$

## طرق عملية لتسهيل حساب معادلات طريقة الظلال

١ - طريقة بارسناس :

تتلخص هذه الطريقة في أخذ الزاويتين ه ، ي بحيث أن الفرق بين ظليهما

= ٠,٠١ ، وبذلك تؤول المسافة الأفقية إلى ١٠٠ ه ، وتصبح المسافة الرأسية

ه ، ٢ ه ، ٣ ه ... حسب الزاوية المستعملة .



جدول ( ١٩ )

الظل	الزاوية	الظل	الزاوية
٠,٠٥	٥٢ ' ٥١ " ٤٥	٠,٠١	٥٠ ' ٣٤ " ٢٣
٠,٠٦	٣ ٢٦ ٠١	٠,٠٢	١ ٠٨ ٤٥
٠,٠٧	٤ ٠٠ ١٥	٠,٠٣	١ ٤٣ ٠٦
٠,٠٨	٤ ٣٤ ٢٦	٠,٠٤	٣ ١٧ ٢٦

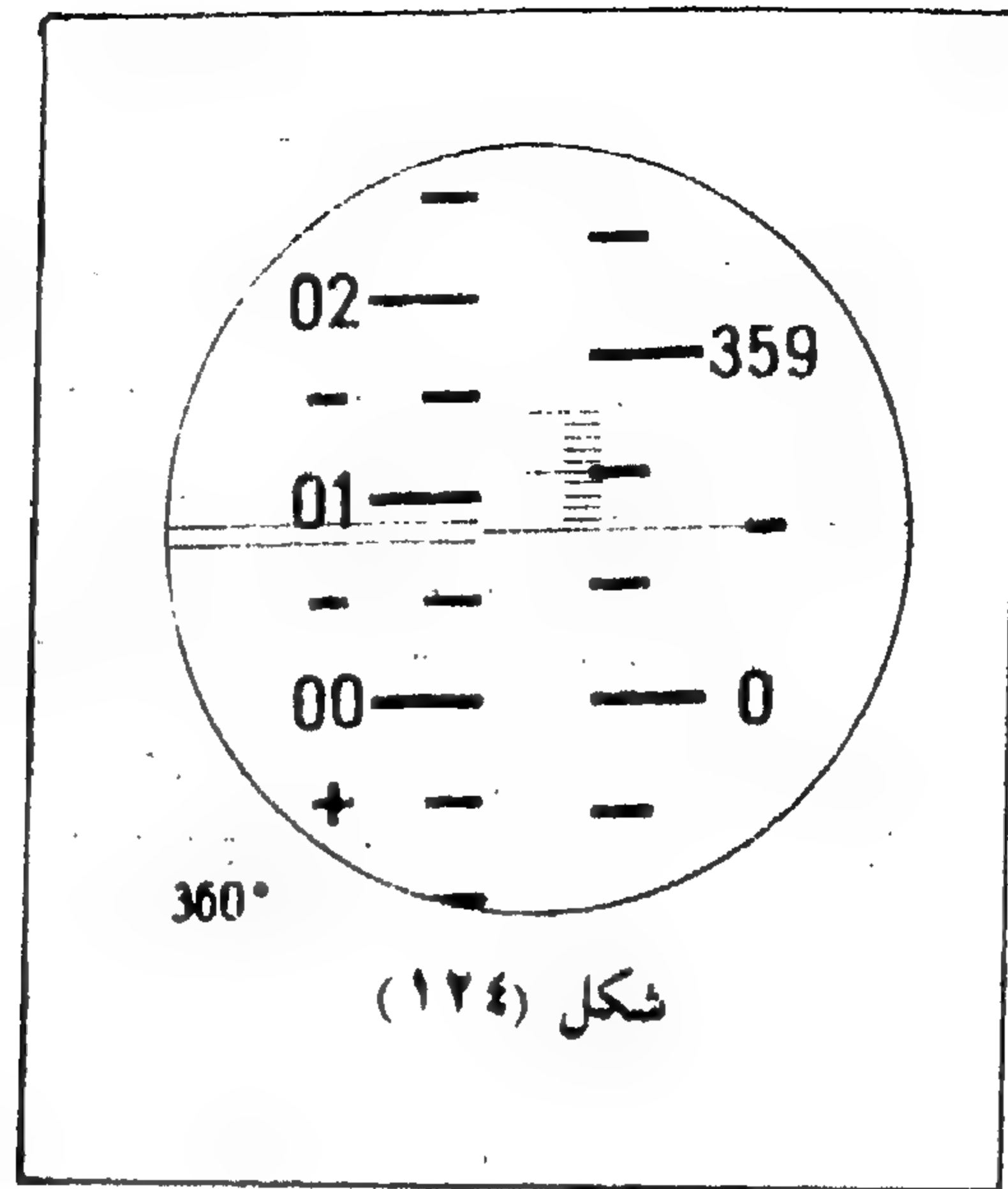
في مثل هذه الطريقة ، وإن كان يمكننا القيام بالعمليات الحسابية ذهنياً ، إلا أنه يصعب كثيراً أن نوقع الزوايا بالدقة المطلوبة بأى تيودوليت عادى ولذا لا يكثر إستعمال هذه الطريقة .

٢ — تاكيومتر ( Szpessy )

وهو نوع كثير الأنتشار والاستعمال . ولقد تغلب الأستاذ المجرى ( Szpessy ) على العيب الذى يؤخذ على طريقة الظلال وهو وجوب توجيه المنظار مرتين إلى الهدف ، وفى كل مرة نحسب ظل الزاوية ، ونفذه فى التاكيومتر المسمى باسمه .

فى هذا الجهاز يوضع مقياس للظلال محفور على لوح دائرى من الزجاج ومتصل بغطاء الدائرة الرأسية حتى يدور أثناء دوران المنظار ويمكن رؤيته خلال منظار صغير مجاور له ومقياس الظلال مقسم إلى أقسام كل منها يساوى ٠,٠٠٥ ومدرج كل قسمين ( أى كل ٠,٠١ ) ولكن التدرج المكتوب هو ١٠٠ × ظل الزاوية بدلاً من ظل الزوايا نفسها كما هو فى شكل ( ١٢٤ ) ، فمثلاً بدلاً من ( ٠,٠١ ) يكتب ( ١ ) وهكذا . وقد بين أمام تدرج الارتفاع علامة ( + ) وأمام تدرج الانخفاض علامة ( - ) .





### طريقة العمل :

١ - نوجه المنظار إلى القامة ونجعل الشعرة الأفقية على قسم صحيح في المقياس بواسطة مسمار الحركة البطيئة للدائرة الرأسية ولتكن قراءة المقياس (ق<sub>٢</sub>) ثم نقرأ القامة .

٢ - نحرك المنظار حتى تصبح الشعرة الأفقية على آخر قسم صحيح (ق<sub>١</sub>) ونقرأ القامة مرة أخرى . وإذا جعلنا ق<sub>٢</sub> قسمين أو تدريجين متتاليين فإن :

$$ف = \frac{\text{الفرق بين قراءتي القامة}}{\text{ق}_2 - \text{ق}_1} = \frac{\text{الفرق بين قراءتي القامة}}{٠,٠١}$$

$$= ١٠٠ \times \text{الفرق بين قراءتي القامة} .$$

أى أن الفرق بين قراءتي القامة بالسنتيمترات يساوى المسافة الأفقية بالأمتار .



٣ — لإيجاد البعد الرأسى بين سطح الجهاز وأى نقطة .

$$\text{ص} = \text{المسافة الأفقية} \times \text{قراءة المقياس} = \text{ف ظاه}$$

٤ — لتعيين قياسات يكون من الأفضل ألا يكتفى بأخذ قراءتين فقط على القامة بل يجب تسلسل القراءة عليها مع تسلسل وحدات المقياس الخاص بقدر ما تسمح به طول القامة ثم نأخذ المتوسط . الجدول ( ٢٠ ) يبين مثال :

جدول ( ٢٠ )

قراءة المقياس الخاص	القراءة على القامة ( م )	الفرق ( م )
٦	٠,٧٦	
٧	١,٢٩	٠,٥٣
٨	١,٨٣	٠,٥٤
٩	٢,٣٦	٠,٥٣
١٠	٢,٩٠	٠,٥٤

$$\text{مجموع الفروق} = ٢,١٤ \quad \text{المتوسط} = ٠,٥٣٥$$

$$\text{المسافة} = ٠,٥٣٥ \times ١٠٠ = ٥٣,٥ \text{ متراً}$$

٥ — إذا كانت القامة قريبة كثيراً من الجهاز فيمكن أخذ قراءة القياس كل وحدتين معاً ، وفي هذه الحالة يكون الثابت التاكيومتري ٥٠ بدلاً من ١٠٠ . وإذا أخذنا القراءة كل خمس وحدات مثلاً فيكون الثابت التاكيومتري ٢٠ . أما إذا كانت المسافة بين القامة والجهاز كبيرة جداً فيمكن أخذ القراءات على المقياس الخاص كل نصف قسم وفي هذه الحالة يكون الثابت التاكيومتري ٢٠٠ .

مثال : أخذت القراءات الآتية على قامة فوق بواسطة تاكيومتر Szpessy موضوع فوق نقطة ب .



قراءة القامة	قراءة مقياس الظلال
٥,١٩	٠,٢٦٥
٤,٢١	٠,٢٦٠
٣,٢٣	٠,٢٥٥

أوجد المسافة بـ أ ومنسوب أ .

$$\text{المسافة الأفقية أ ب} = \frac{٣,٢٣ - ٥,١٩}{٠,٢٥٥ - ٠,٢٦٥} = ١٩٦ \text{ مترا}$$

$$\begin{aligned} \text{ص} &= ١٩٦ \times ٠,٢٦ = ٥٠,٩٦ \text{ مترا} \\ \text{منسوب أ} &= ٧٠,٦١ + ١,٣٥ + ٥٠,٩٦ - ٤,٢١ \\ &= ١١٨,٧١ \text{ مترا} \end{aligned}$$

ويلاحظ إننا استعملنا القراءة ٤,٢١ مع قراءة المقياس ٠,٢٦٠ .

ولو أوجدنا ص بالقراءة ٠,٢٦٥ مثلاً لاستعملنا ٥,١٩ عند إيجاد المنسوب كما يلي :

$$\begin{aligned} \text{ص} &= ١٩٦ \times ٠,٢٦٥ = ٥١,٩٤ \text{ مترا} \\ \text{منسوب أ} &= ٧٠,٦١ + ١,٣٥ + ٥١,٩٤ - ٥,١٩ \\ &= ١١٨,٧١ \text{ مترا} \end{aligned}$$







## الباب الرابع عشر طريقة قضيب الأنفار

### Invar Subtense Bar

كانت مصلحة المساحة بالهند أول من استعمل هذه الطريقة في أواخر القرن التاسع عشر .

وتعتبر طريقة قضيب الأنفار من أهم طرق التاكيومترية لتعدد مزاياها وتنوع استعمالاتها ويمكن قياس مسافات بهذه الطريقة حتى ٩٠٠ متر . وطريقة قضيب الأنفار هي إحدى طرق المجموعة الأولى حيث القاعدة ثابتة عند موضع الهدف وتتغير زاوية البرالاكس حسب المسافة المقيسة وحسب وضع القضيب بالنسبة للخط المقيس .

وأساس هذه الطريقة هو قياس زاوية البرالاكس المحصورة بين طرفي قضيب ذي طول معين موضوع أفقياً عند أحد طرفي الخط ويتم قياس هذه الزاوية بواسطة التيودوليت عند الطرف الآخر للخط .

### نظرية القياس :

تتلخص نظرية القياس بهذه الطريقة فيما يلي :

١ — عند تحديد مسافة معينة  $AB$  مثلاً — فيتم ذلك بواسطة قضيب الأنفار المحدد الطول بعلامتين  $(L, P)$  يحصران مسافة معلومة ومحددة وبدقة تامة ولتكن  $H$  شكل ( ١٢٥ ) .

٢ — يثبت القضيب أفقياً على حامل فوق نقطة  $A$  وبحيث يكون عمودياً على الخط  $(AB)$  المراد قياسه . ثم يوضع في الطرف  $B$  تيودوليت لقياس الزاوية الأفقية ( زاوية البرالاكس ) بين نهايتي الذراع  $L, P$  ، وهذه الزاوية



لا تتأثر باختلاف منسوب التيودوليت عن منسوب الذراع حيث زاوية البرالاكس المقاسة هي الزاوية الأفقية شكل ( ١٢٦ ) .

(٨٠) ....

$$\text{المسافة الأفقية ( ا ب ) } = \frac{\text{ا}^2}{2} = \frac{\text{ب}^2}{2} \text{ ظناً على}$$

فرق الارتفاع ص =  $\pm$  ف ظاهر

$$\text{منسوب ا} = \text{منسوب ب} + \text{ارتفاع التيودوليت عند ب}$$

$$\pm \text{ ص} - \text{ارتفاع حامل القضيب فوق ا}$$

(٨١) .....

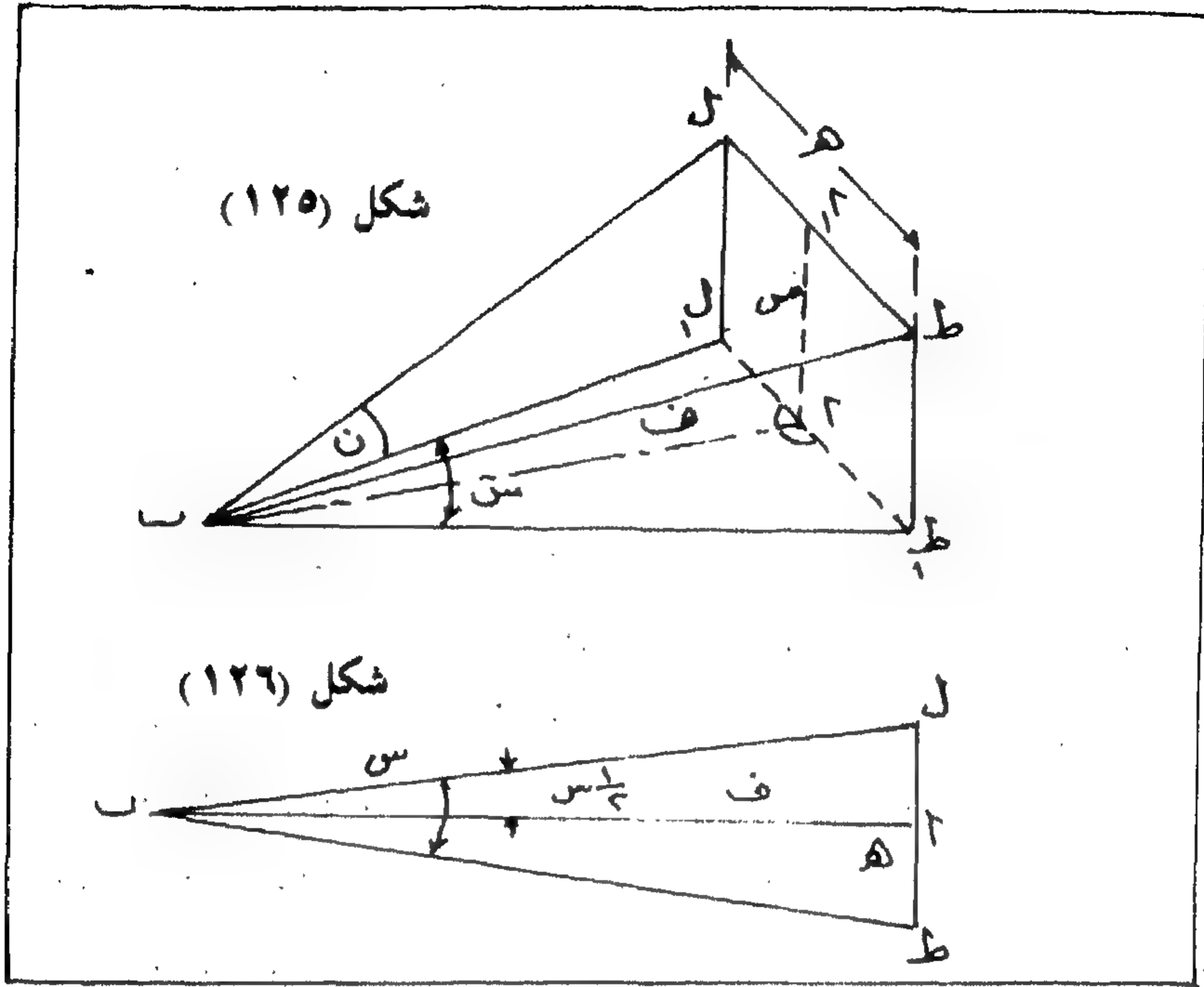
**دقة القياس :**

- وتتوقف الدقة في حساب المسافة بهذه الطريقة على العوامل الآتية :
- ١ - درجة دقة قياس زاوية البرالاكس ( وتتوقف على دقة التيودوليت وعدد مرات رصد الزاوية ) .
  - ٢ - تعامد قضيب الأنفار على الخط المقيس .
  - ٣ - أفقية القضيب .
  - ٤ - أوضاع القضيب المختلفة بالنسبة لطول المسافات المقاسة .
- ويعتبر العامل الأول والأخير من العوامل ذات التأثير الكبير على درجة الدقة بينما لا تتأثر هذه الدقة بالعاملين الثاني والثالث تأثيراً كبيراً .

**مميزات الطريقة :**

- وتتميز طريقة قضيب الأنفار عن الطرق الأخرى بالمميزات التالية :
- ١ - استعماله أسهل من القياس المباشر بالشريط .





- ٢ — الحصول على المسافة الأفقية مباشرة وبدقة عالية جداً ولا تحتاج إلى حسابات معقدة .
- ٣ — لا تتأثر المسافة المقاسة بالتغير في درجة الحرارة أو طبوغرافية المنطقة .
- ٤ — يمكن قياس خطوط تصل إلى كيلو متر واحد تقريباً باتخاذ أوضاع مختلفة للقضيب وبدقة عالية جداً لا تتوفر في أى أجهزة تاكيومترية أخرى .

#### استعمالات الجهاز :

يستعمل قضيب الأنفار في الأعمال المساحية التي تحتاج إلى دقة عالية في قياس الأطوال ويمكن حصرها فيما يلي :

- ١ — قياس خطوط المضلعات ( الترافرسات ) .
- ٢ — أعمال الربط الأرضي في المساحة الفوتوجرامترية .
- ٣ — تعيين أطوال خطوط قواعد المثلثات ( الدرجتين الثالثة والرابعة ) .
- ٤ — أعمال مساحة الأنفاق والمناجم .



- ٥ - أعمال توقيع وتخطيط المشروعات .  
٦ - تحديد أطوال ثابتة لمعايرة الشرائط ولتعيين ثوابت الأجهزة المساحية كالثابت التاكيومتري وإضافي .

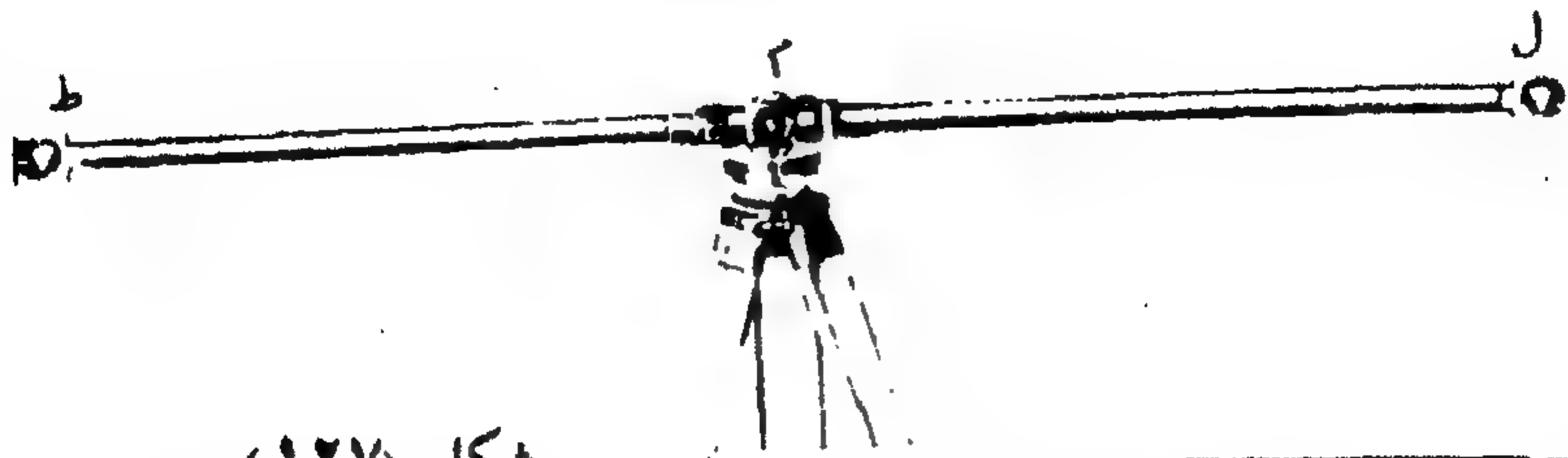
### وصف الجهاز :

توجد أنواع عديدة منه ولكنها تتفق جميعها في أساس الاستعمال والتركيب العام لها .

وهو يتركب من ذراعين شكل ( ١٢٧ ) كل منهما عبارة عن أنبوبة من الصلب مفرغة طولها متراً واحداً تقريباً ، ويربطهما عند أحد طرفيهما مفصلة وعند الطرف الآخر قرصان زجاجيان بهما علامتان مثلثتا الشكل بداخل كل منهما زوجان من الخطوط شكل ( ١٢٨ ) ، أحد هذين الزوجين عبارة عن خطين سميين للرصد البعيد والزوج الآخر خطين رفيعين للرصد القريب ، كما يوجد بداخل كل من المثلثين دائرة صغيرة أو فتحة مغطاه بزجاج أحمر اللون للرصد عليه ليلاً ويمكن رؤية العلامتين بوضوح حتى على بعد ٧٠٠ متر والمسافة بين هاتين العلامتين = ٢,٠٠٠ متر تماماً . وفي بعض الأجهزة كما في قضيب ( زائس ) توجد علامة في المنتصف على شكل معين شكل ( ١٢٩ ) . والذراعان يمكن طيهما على بعض . أو فتحهما على استقامة واحدة عند الاستعمال ، وبداخل كل ذراع سلك من الأنفار أحد طرفيه مثبت في طرف الأنبوبة عند المفصلة والطرف الثاني مشدود إلى الخارج بواسطة زنبرك وبذا تظل المسافة بين العلامتين ثابتة وتساوى مترين تماماً إذا تمددت الأنبوبة أو أنكمشت نتيجة لتغير درجة الحرارة وشكل ( ١٣٠ ) يبين ذلك .

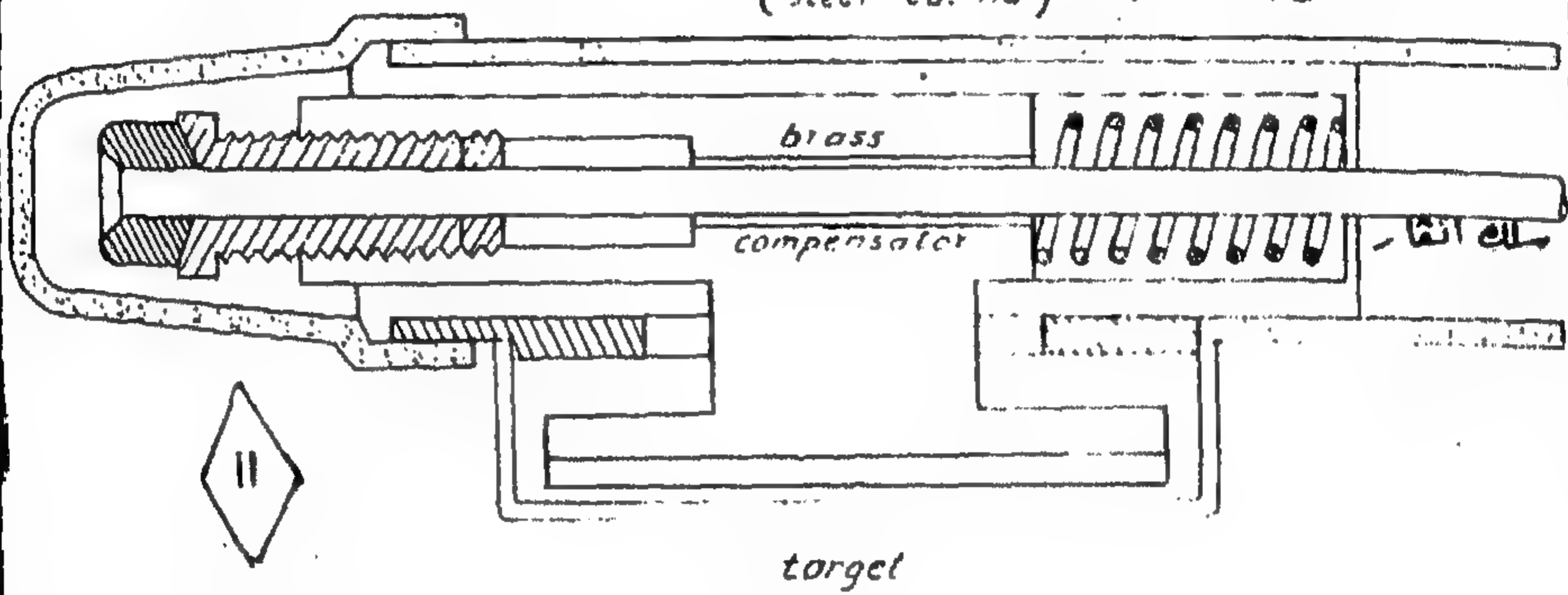
وعند منتصف القضيب مثبت منظار صغير ( م ) شكل ( ١٣١ ) محوره البصرى متعامد مع الخط الواصل بين علامتى الرصد وبوساطة هذا المنظار تجعل القضيب متعامداً على الخط المراد قياسه .





شکل (۱۲۷)

استواریت صلب (steel cast iron)



شکل (۱۲۹)

شکل (۱۳۰)



شکل (۱۳۱)



شکل (۱۲۸)



## طريقة القياس :

لقياس مسافة ما مثل ا ب تجري الخطوات التالية :

- ١ - نثبت القضيب جيداً فوق حامله مسامتا أحد طرفي الخط المراد قياسه وليكن نقطة ( ا ) بواسطة خيط وثقل الشاغول مع جعله أفقياً بالتقريب .
- ٢ - نفتح ذراعى القضيب على استقامة واحدة ثم نجعله أفقياً تماماً بواسطة مسامير التسوية وميزان التسوية الدائرى المثبت فوق الحامل ومن ثم يكون الخط الواصل بين علامتى الرصد أفقى تماماً .
- ٣ - ندير القضيب باليد حول محوره الرأسى حتى نرصد خلال المنظار الصغير ( م ) خيط شاغول التيودوليت المثبت فوق ( ب ) والمسامت لها وبذا يكون القضيب معد للقياس . ( فى نوع زايس يوجد مثلث ضوئى داخل المنظار الصغير فيدار القضيب حتى ينطبق رأس المثلث الضوئى على خيط شاغول التيودوليت ) .
- ٤ - نوجه التيودوليت وهو فى وضع متيامن إلى العلامة اليسرى ونقرأ الدائرة الأفقية ثم نرصد العلامة اليمنى . وبطرح القراءتين نحصل على زاوية البرالاكس ( س ) وتكون المسافة الأفقية  $F = \frac{1}{2} H \cdot \text{ظنا} \frac{1}{2} \text{ س}$  .

وحيث أن  $H = 2,0$  مترا

..... (٨٢)

$$F = \frac{1}{2} H \cdot \text{ظنا} \frac{1}{2} \text{ س}$$

وذلك سواء أكان خط النظر أفقياً أو مائلاً لأن الزاوية المقاسة هي الزاوية الأفقية . ولايجاد منسوب ( ا ) نطبق المعادلة ( ٨١ ) .



## حالات القياس المختلفة

عند وضع قضيب الأنفار عند أحد طرفي الخط المراد قياسه ووضع التيودوليت في الطرف الآخر نجد أن مقدار الخطأ النسبي المحتمل ( في حالة استخدام تيودوليت دقيق ) في استعمال القضيب بالنسبة إلى أطوال الخط المقاس يزيد بازدياد المسافة المقاسة فمثلاً تكون نسبة الخطأ إلى الطول ١ : ١٠٠٠٠ عند قياس خط طوله ٤٠ متر بينما تزيد هذه النسبة وتصل إلى ١ : ٥٠٠٠ عند قياس خط طوله ٨٠ متر — ولما كانت هذه النسبة هي المسموح بها في القياس فإنه يجب أن يأخذ القضيب أوضاعاً مختلفة نردها فيما يلي الأشكال ( ١٣٢ — ١٣٧ ) .

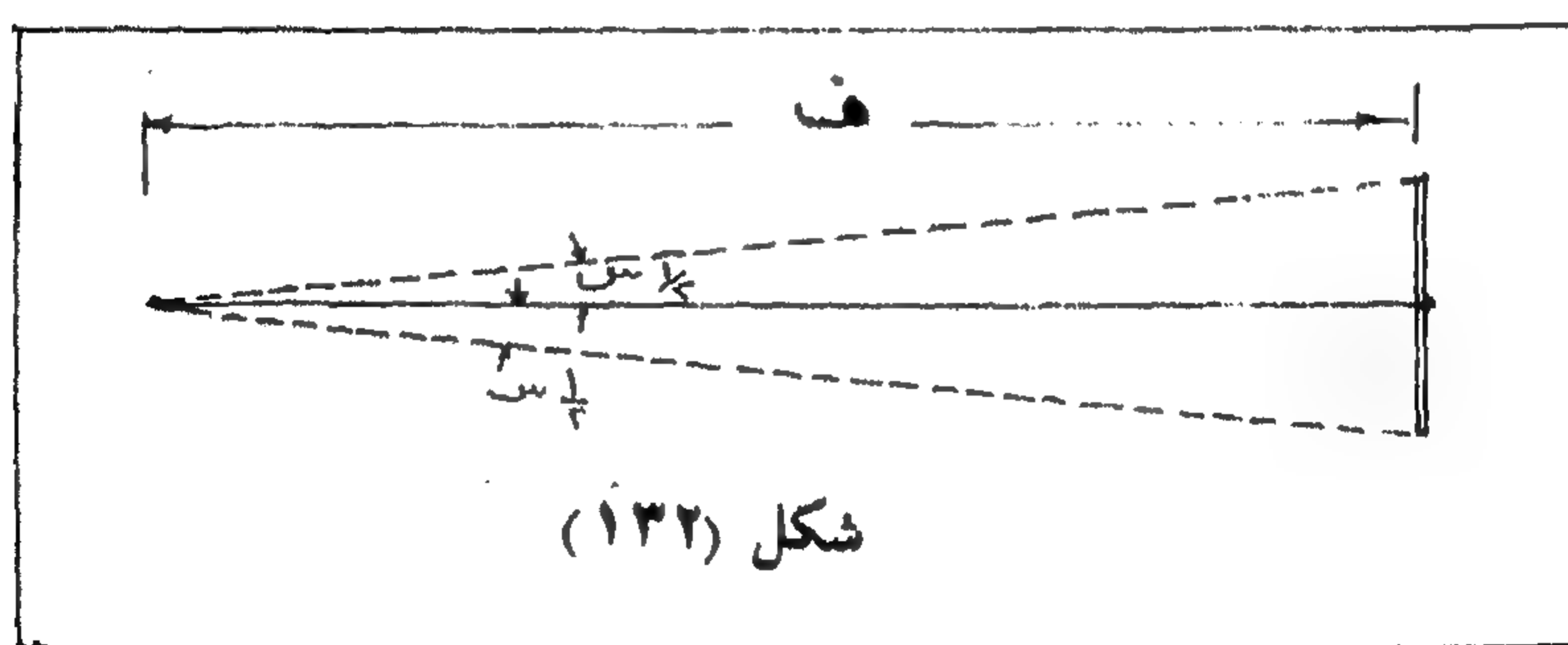
الوضع الأول : القضيب عند طرف الخط المقاس مباشرة :

وتصلح للمسافات حتى ٨٠ متر .

المسافة ف = ظلًا  $\frac{1}{2}$  س شكل (١٣٢) .

الخطأ النسبي المحتمل ١ : ٦٠٠٠ لمسافة ٧٥ متراً

١ : ٥٠٠٠ لمسافة ٨٠ متر





الوضع الثانى : القضيـب يتوسط الخط المقاس مباشرة :

وتصلح للمسافات من ٨٠ متر حتى ١٦٠ متر . شكل ( ١٣٣ ) .

(٨٣) .....

$$\begin{aligned} \text{المسافة ف} &= \text{ف}_1 + \text{ف}_2 \\ &= \left( \text{ظنا } \frac{1}{2} \text{ س}_1 + \text{ظنا } \frac{1}{2} \text{ س}_2 \right) \end{aligned}$$

الخطأ النسبى المحتمل ١ : ٨٠٠٠ لمسافة ١٥٠ متر .

الوضع الثالث : القضيـب عند أحد طرفى الخط مع استعمال خط قاعدة مساعد :

ويصلح هذا الوضع للمسافات من ١٦٠ متر حتى ٣٥٠ متر .

والخطأ النسبى المحتمل ١ : ١٢٠٠٠ لمسافة ٣٠٠ متر .

ويتم ذلك بإحدى الطريقتين .

١ — استعمال خط قاعدة مساعد يقع على جانب الخط المقاس ( فى ناحية واحدة منه ) شكل ( ١٣٤ ) :

١ — نقيم الخط المساعد ( هـ ) متعامداً مع أحد طرفى الخط المراد قياسه .

٢ — تقاس هـ بوضع قضيـب الأنفار فى نهايتها وذلك بقياس الزاوية الأفقية س<sub>١</sub> ثم تقاس س<sub>٢</sub> .

(٨٤) .....

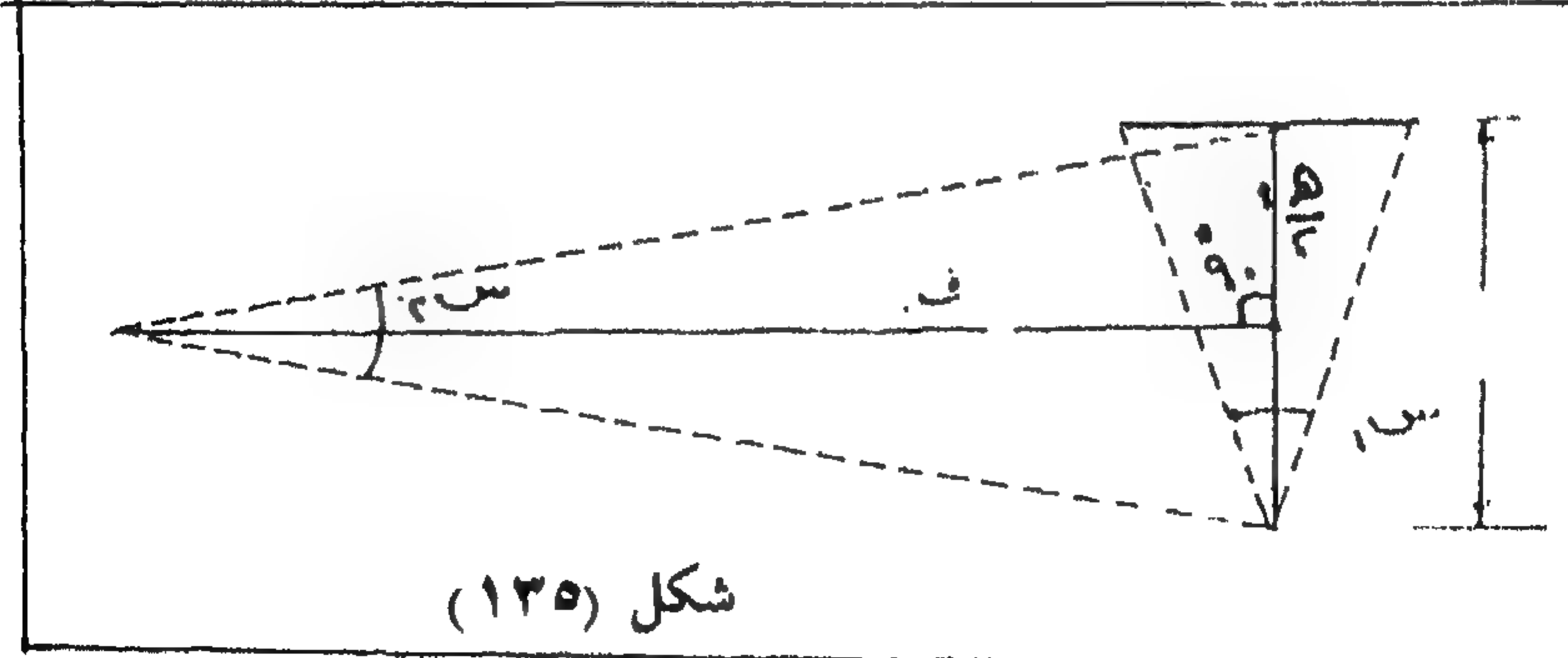
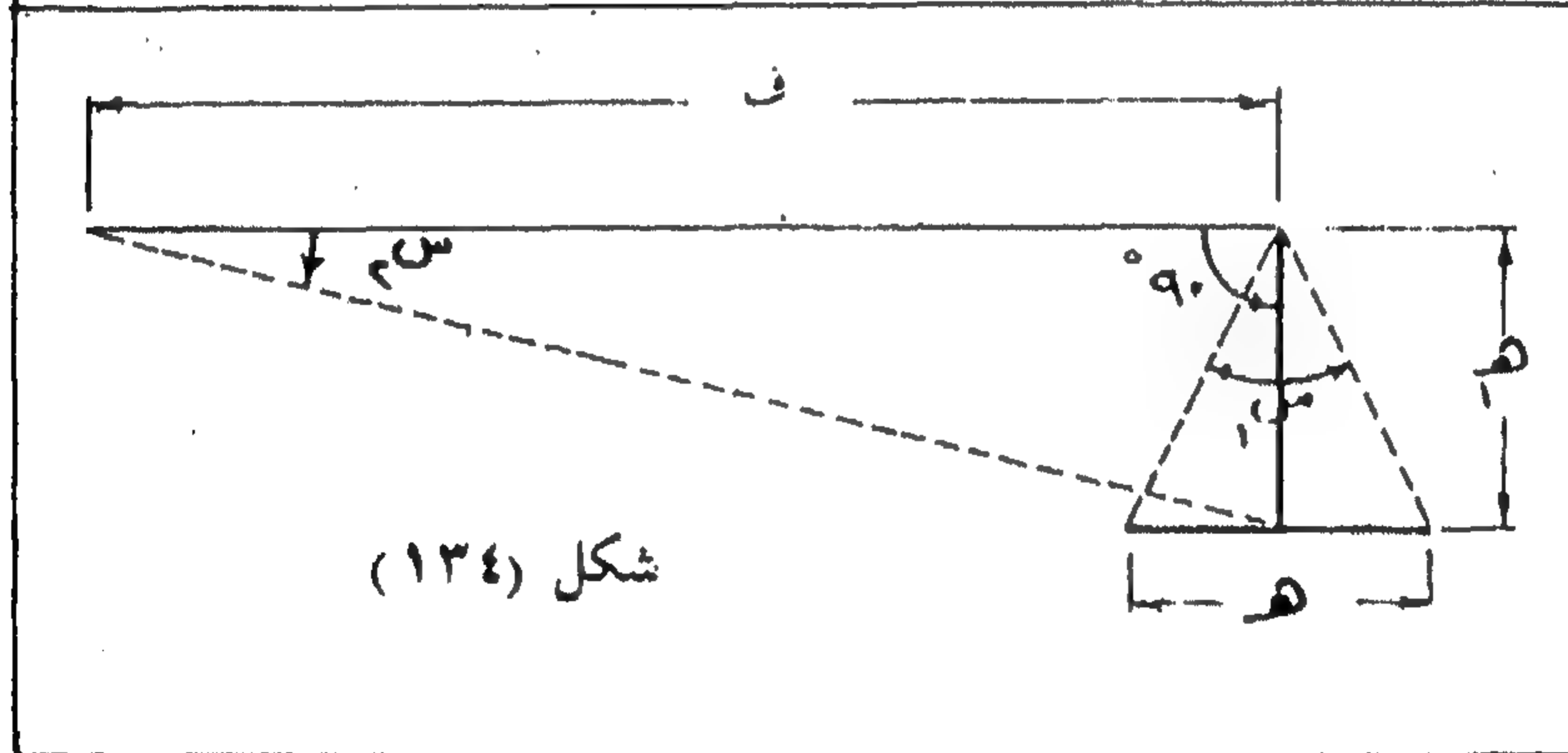
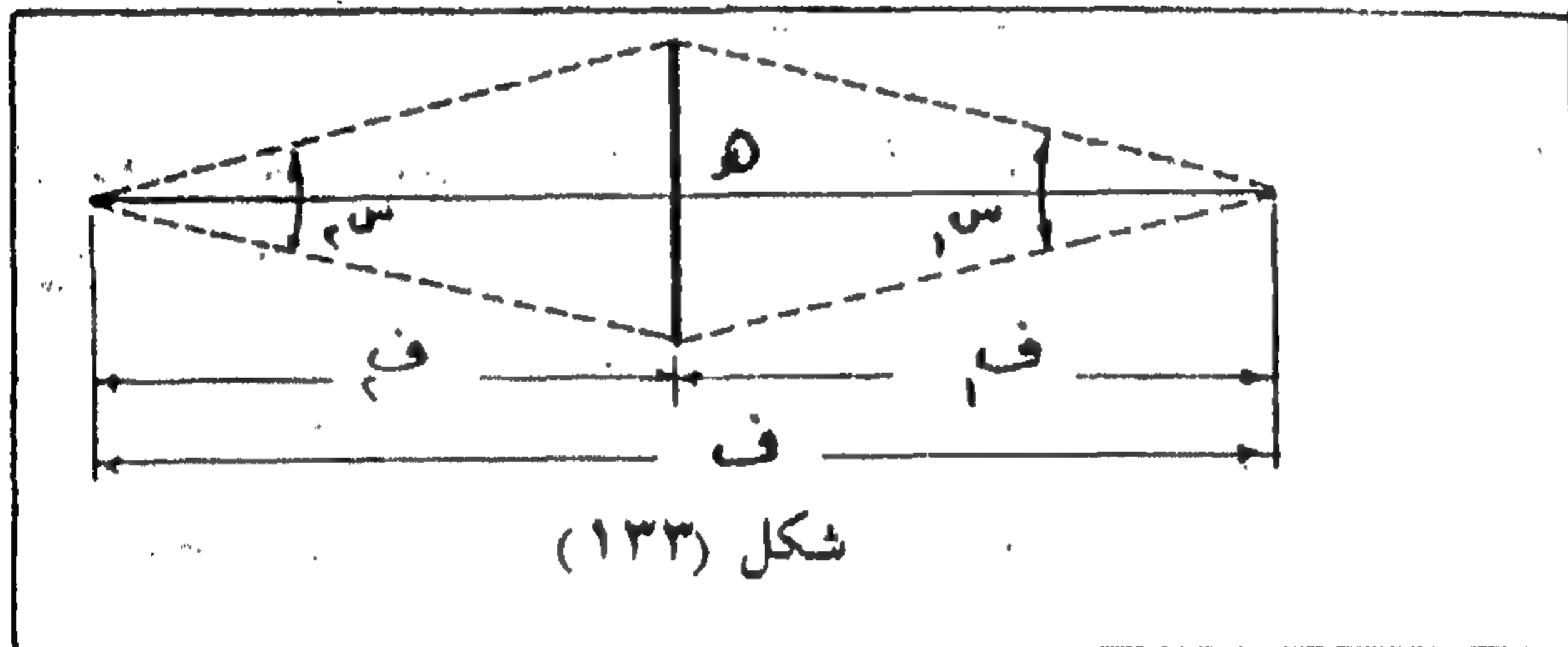
$$\begin{aligned} \text{طول خط القاعدة المساعد هـ} &= \text{ظنا } \frac{1}{2} \text{ س}_1 \\ &= \sqrt{\text{ف}_2} \text{ تقريباً} \end{aligned}$$



وهذا الطول هو الواجب اختياره عملياً .

المسافة الأفقية ف =  $h$  ، ظل  $s_1$  ..... (٨٥)

ب - خط القاعدة المساعد ينصفه الخط المقاس شكل ( ١٣٥ ) .





(٨٦) .....

$$ه_1 = \text{ظنا } \frac{1}{2} س_1 = \sqrt{2} \text{ ف تقريباً}$$

(٨٧) .....

$$\text{المسافة الأفقية ف} = \frac{ه_1}{2} \text{ ظنا } \frac{1}{2} س_2$$

الوضع الرابع : القضيب عند منتصف الخط المقاس مع استعمال خط قاعدة مساعد :

ويصلح هذا الوضع للمسافات من ٣٥٠ متر وحتى ٨٠٠ متر .

والخطأ النسبي المحتمل ١ : ١٤٥٠٠ لمسافة ٦٠٠ متر .

ويتم ذلك بإحدى طريقتين :

١ - خط القاعدة يقع على جانب الخط المقاس ( في ناحية واحدة منه )  
شكل ( ١٣٦ ) .

١ - نقيم الخط المساعد ( ه<sub>١</sub> ) متعامداً عند منتصف الخط المراد قياسه تقريباً .

٢ - تقاس ( ه<sub>١</sub> ) بوضع قضيب الأنفار في نهايته وذلك بقياس الزاوية الأفقية س<sub>١</sub> ثم تقاس س<sub>٢</sub> ، س<sub>٣</sub> .

(٨٨) .....

$$\text{طول خط القاعدة المساعد ه}_1 = \text{ظنا } \frac{1}{2} س_1$$

$$= ٠,٧ \sqrt{2} \text{ ف تقريباً}$$

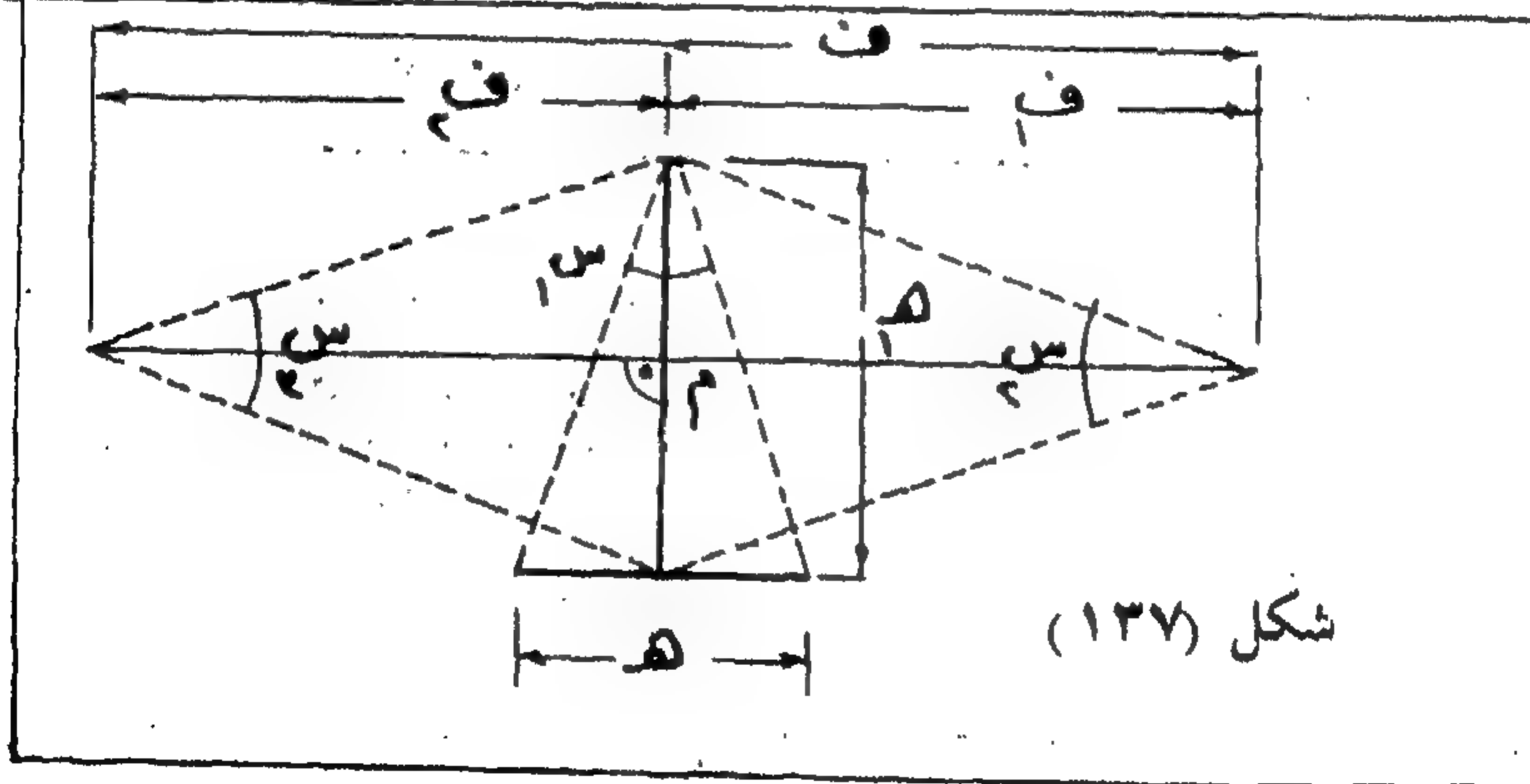
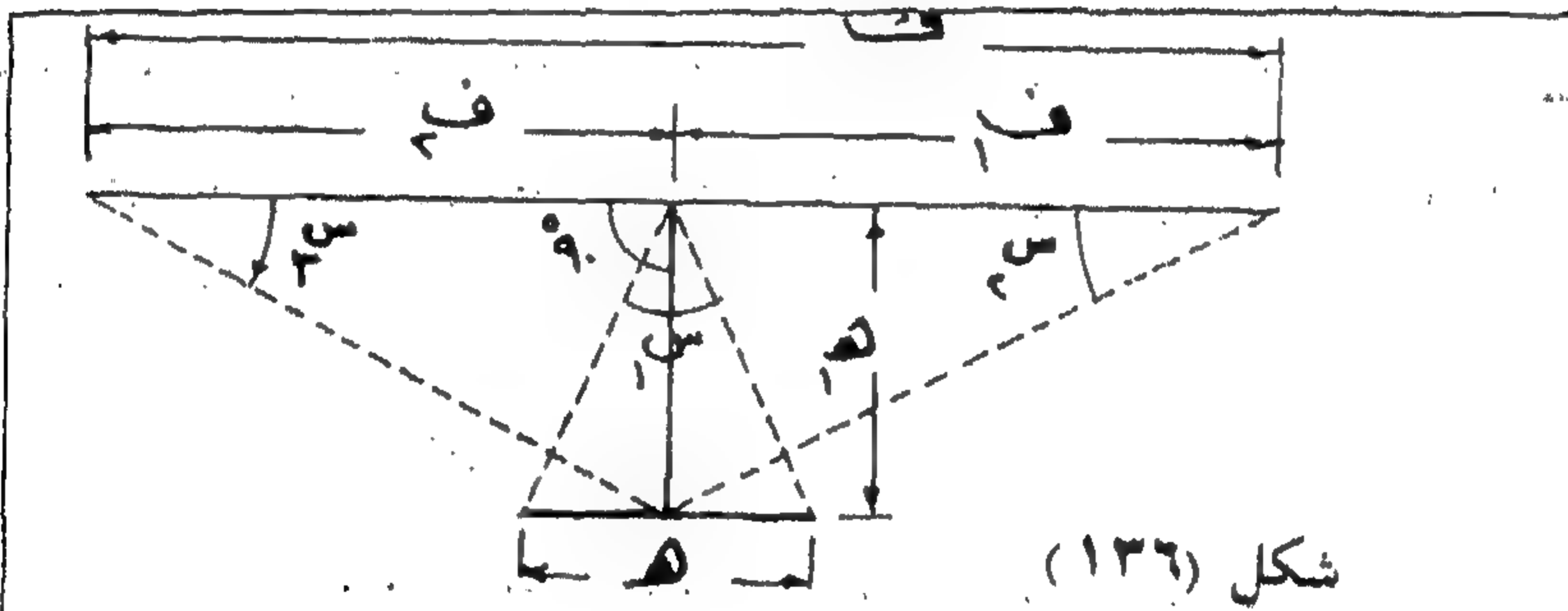


وهو الطول الواجب استعماله نظرياً .

المسافة الأفقية ف =  $h_1$  ( ظلنا  $s_2$  + ظلنا  $s_3$  ) ..... (٨٩)

ب — خط القاعدة ينصف الخط المقاس شكل ( ١٣٧ ) .

$h_1 = \text{ظلنا } \frac{1}{2} s_1 = 70,7 \sqrt{2}$  ف ..... (٩٠)





$$(91) \dots\dots \boxed{\text{المسافة الأفقية ف} = \frac{1}{2} \left( \text{ظنا} \frac{2}{3} + \text{ظنا} \frac{2}{3} \right)}$$

ويراعى فى هذه الطريقة أن تكون م هى منتصف ه ، تقريباً وبشرط ألا تبعد عن المنتصف بمقدار يزيد عن  $\frac{ف}{400}$  حيث فرض فى المعادلة ( ٩١ ) أن

الخط ينصف كل من س<sub>٢</sub> ، س<sub>٣</sub> . ويمكن إهمال الخطأ الناشئ لو كانت المسافة بين م ومنتصف ه ، أقل من  $\frac{ف}{400}$  .

وعملياً وبالأخص عند قياس أطوال المضلعات نختار موضع خط القاعدة المساعد قريباً من إحدى نقط الترافرس ب مثلاً شكل ( ١٣٨ ) بحيث تقاس الزوايا س<sub>١</sub> ، ي<sub>١</sub> ، ي<sub>٢</sub> عند نقطة والزوايا س<sub>٢</sub> ، س<sub>٣</sub> عند كل من ا ، ح ، على الترتيب .

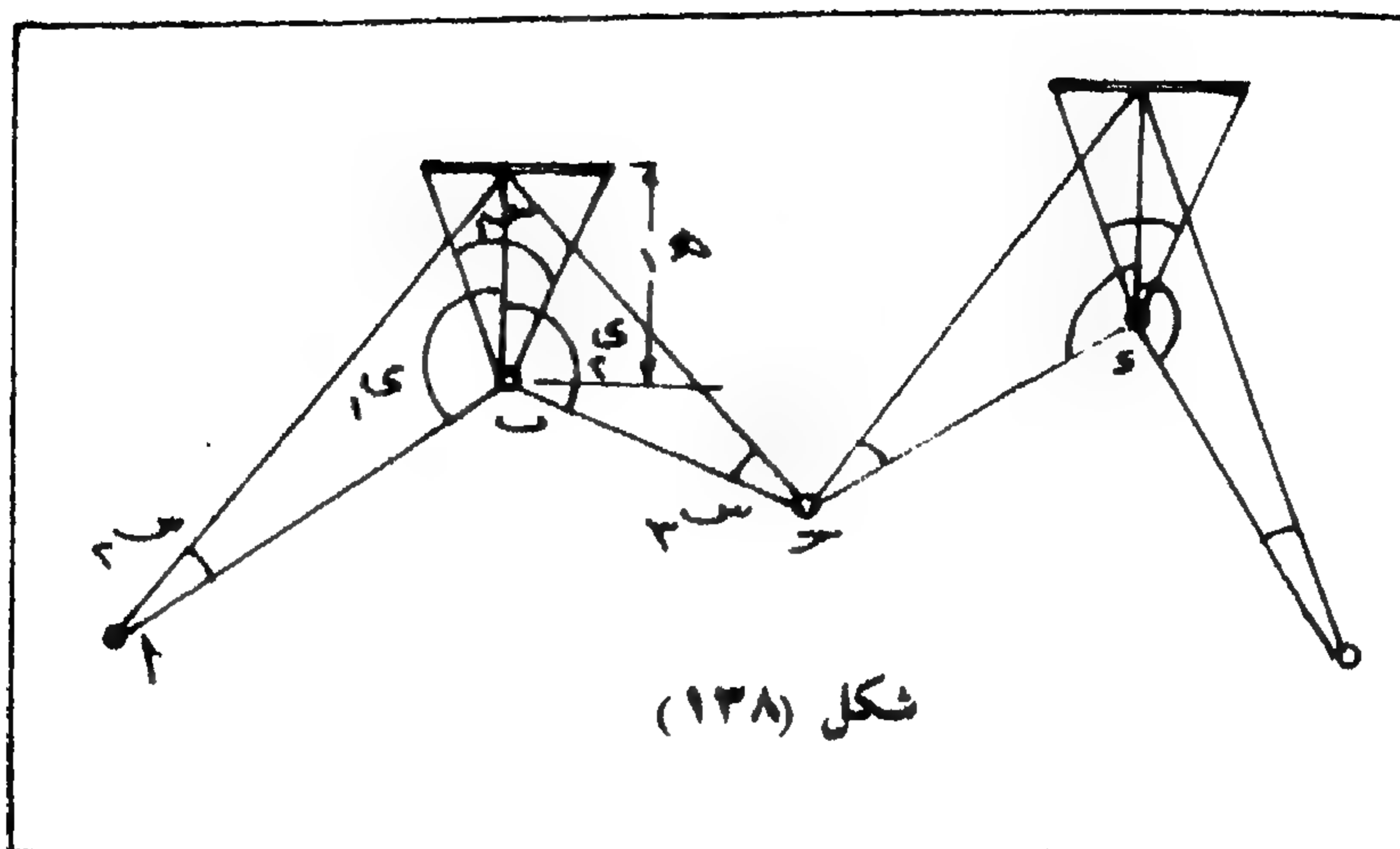
وتكون المسافات هى :

$$(92) \dots\dots \boxed{\text{ف}_1 = \frac{\text{جا } (ي_1 + س_2)}{\text{جا } س_3}}$$

$$(93) \dots\dots \boxed{\text{ف}_2 = \frac{\text{جا } (ي_2 + س_3)}{\text{جا } س_1}}$$

وتستعمل هذه الطريقة بنجاح تام فى المضلعات التى لا يزيد أطوال خطوطها عن ٣٥٠ متر حيث يمكن الحصول على دقة عالية فى أطوال الخطوط





فضلاً عن سهولة تنفيذ هذه الطريقة حيث تقاس الخطوط والزوايا من وضع واحد لجهاز التيودوليت .

**مثال :**

عند قياس زوايا وأضلاع  $abc$  وضع قضيب الأنفار قريباً من النقطة  $b$  وذلك لقياس الضلعين  $ba$ ،  $bc$  ووضع التيودوليت فوق  $b$  وأخذت القراءات على الدائرة الأفقية من الوضع المتزامن فكانت :

إلى ا... "..."... إلى ح... "..."... ٥٢٤٨

إلى الطرف الأيسر ٢٠ ٣٠ ١٢٠ إلى ٢٠ "٢٠ .. ..

إلى الطرف الأيمن ٢٠ " ٣٠ ' ١٢٤ °

عين المسافتين أ ب ، ب ح إذا كانت الزاويتين عند أ ، ح ومنتصف  
القضيب هي ٤٠ ' ٥٣ ، ٢٠ ' ٥٤ على الترتيب .

الحل :

کما فی شکل ( ۱۳۸ ) وبعد تصحیح الاتجاهات تستنتج کل من الزوايا الثلاث س ، ی<sub>۱</sub> ، ی<sub>۲</sub> کما یلی :



الاتجاهات المقاسة	الاتجاهات المصححة	
٠... '... "...	٠... '... "...	١
١٢٠ ٣٠ ١٥	١٢٠ ٣٠ ٢٠	أيسر
١٢٤ ٣٠ ١٠	١٢٤ ٣٠ ٢٠	أيمن
٢٤٨ ٣٩ ٤٥	٢٤٨ ٤٠ ٥٠	ح
... ..	... .. ٢٠	١

$$\text{س} = ٥٥^{\circ} ٥٩' ٥٣'' \quad \text{ي} = ١٢,٥^{\circ} ٣٠' ٥١٢٢''$$

$$\text{ي} = ٣٢,٥^{\circ} ٠٩' ٥١٢٦''$$

$$\text{و بتطبيق العلاقة} \quad \frac{١}{\text{جا } (١ + \text{ي})} = \frac{\text{أب}}{\text{هـ}}$$

$$\text{والعلاقة} \quad \frac{١}{\text{جا } (٢ + \text{ح})} = \frac{\text{ح ب}}{\text{هـ}}$$

$$\text{أب} = \frac{\text{هـ} \cdot \text{جا } (١ + \text{ي})}{\text{ظنا س}} = \frac{\text{جا } (١ + \text{ي})}{\text{جا } ٢}$$

$$= \frac{٠,٨٤٣٣ \times ٢٨,٦٤}{٠,٠٦٣} = ٢٨٣,٣٧ \text{ متر}$$

وبالمثل تحسب المسافة ح ب



## الباب الخامس عشر

### طرق وأجهزة الصور المزدوجة

تنقسم أجهزة وطرق الصور المزدوجة إلى مجموعتين :

المجموعة الأولى : وتتبع هذه الأجهزة المجموعة الأولى من التقسيم العام للمساحة التاكيومترية حيث أنها طرق وأجهزة تتواجد فيها القاعدة عند موضع الهدف وأهم أجهزة هذه المجموعة هي :

١ — جهاز منشور المسافة .

٢ — جهاز التاكيومتر المختزل والمنشور ( Redta ) .

٣ — جهاز التاكيومتر RDH .

وطريقة منشور المسافة هي إحدى طرق التاكيومترية بأستعمال القاعدة الأفقية وتختلف هذه الطريقة عن قضيب الأنفار في ثبوت زاوية البرالاكس ، وتحدد المسافة المقاسة على قامة أفقية موضوعة عند أحد طرفي الخط المراد قياسه .

#### ١ — منشور المسافة

( Distance Wedge Method )

ومنشور المسافة عبارة عن تركيبة يمكن وضعها أمام العدسة الشيئية في جهاز التيودوليت أو التاكيومتر الذي يوجه نحو قامة أفقية خاصة لحساب المسافة مباشرة بين الجهاز والقامة . وبقياس زاوية الإرتفاع أو الإنخفاض يمكن تحديد المسافة الأفقية وفرق الأرتفاع .

تركيب المنشور :

يتركب منشور المسافة من منشورين زجاجين وغير ملتصقين وموضوعين



أمام العدسة الشيئية ولا يغطي الشيئية كلها شكل ( ١٣٩ ، ١٤٠ ) عند وضعه أمامها بل يحجب شريحة أفقية ضيقة في الجزء الأوسط من الشيئية ولذلك يتكون على حامل الشعيرات صورتان أحدهما منحرفة أفقياً وهي الصورة الداخلة إلى المنظار من خلال المنشور ثم الشيئية والأخرى وهي الداخلة إلى المنظار من خلال الشيئية مباشرة وزاوية الأشعة هي زاوية إنحراف أو إنكسار المنشور وقد صنع المنشور بزاوية إنحراف قدرها  $12,6''$   $34'$  وظلها  $\frac{1}{100}$  وشكل ( ١٤١ ) يبين منشور المسافة وهو مركب على التيودوليت .

أما القامة المستعملة مع المنشور فهي قامة خاصة مدرجة وطولها متران تقريباً وتوضع عند الاستعمال في وضع أفقى على حامل ثلاثي خاص بها شكل ( ١٤٢ ) .

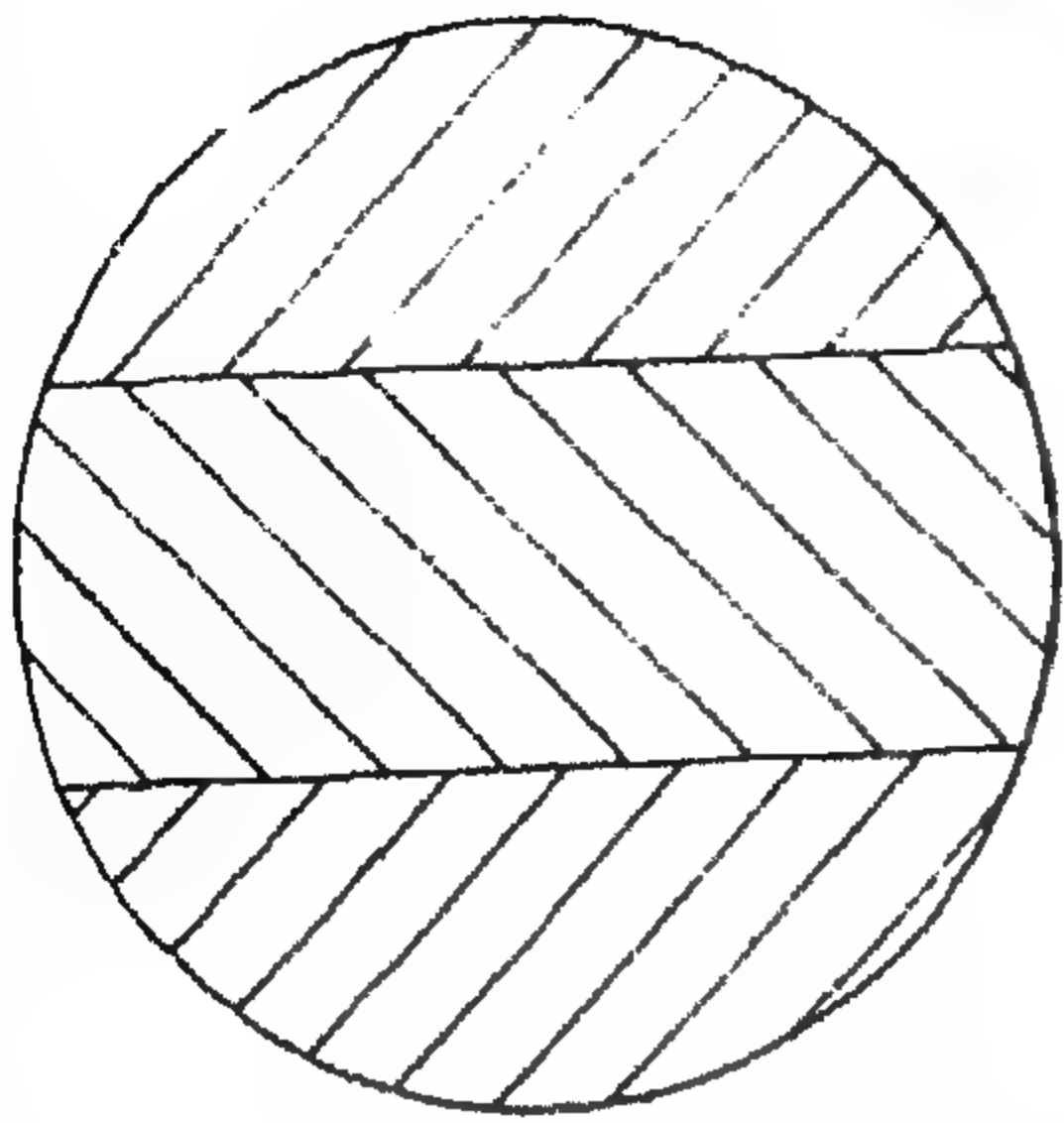
### طريقة الاستعمال :

لقياس المسافات توضع القامة أفقية على حاملها وهي مجهزة عند أحد طرفيها بورنية شكل ( ١٤٢ ) بحيث ينطبق صفر الورنية على صفر مقياس القامة ( توضع أحياناً ورنية أخرى يبعد صفرها عن صفر الورنية الأولى بمقدار ٥٠ سم كما في شكل ( ١٤٢ ) أو أى مقدار آخر وهذا للتحقيق ) . فإذا نظرنا خلال المنظار رأينا صورة الورنية متكونة من خلال المنشور تحت صورة جزء ما من القامة وكأن صورة الورنية قد أنتقلت من موضعها نتيجة لانحراف خط النظر الموجه إليها وتأخذ موضعاً جديداً فوق مقياس القامة وتكون المسافة التى أنتقلتها هذه الورنية هي ( هـ ) الفرق المطلوب تعيينه شكل ( ١٣٩ ) ، ونعين مقداره بتعيين قراءة صفر الورنية على المقياس من خلال المنظار .

$$\frac{1}{100} \text{ ظا } 1 = \text{وحيث أن زاوية الانحراف}$$

فإن  $F = 100$  هـ  $= 100 \times$  قراءة الورنية . وإذا كان خط النظر مائلاً فإن المسافة المقروءة تكون هي المسافة المائلة ( م ) .





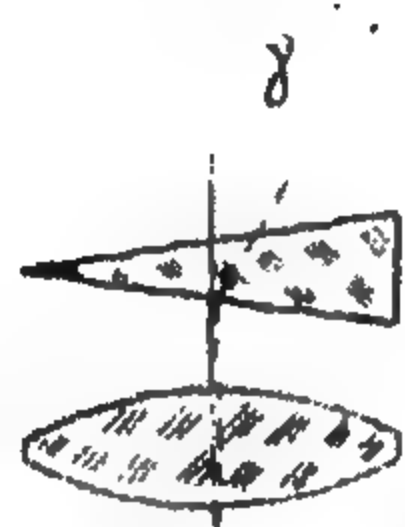
(ف)

$L_1$

$L_2$

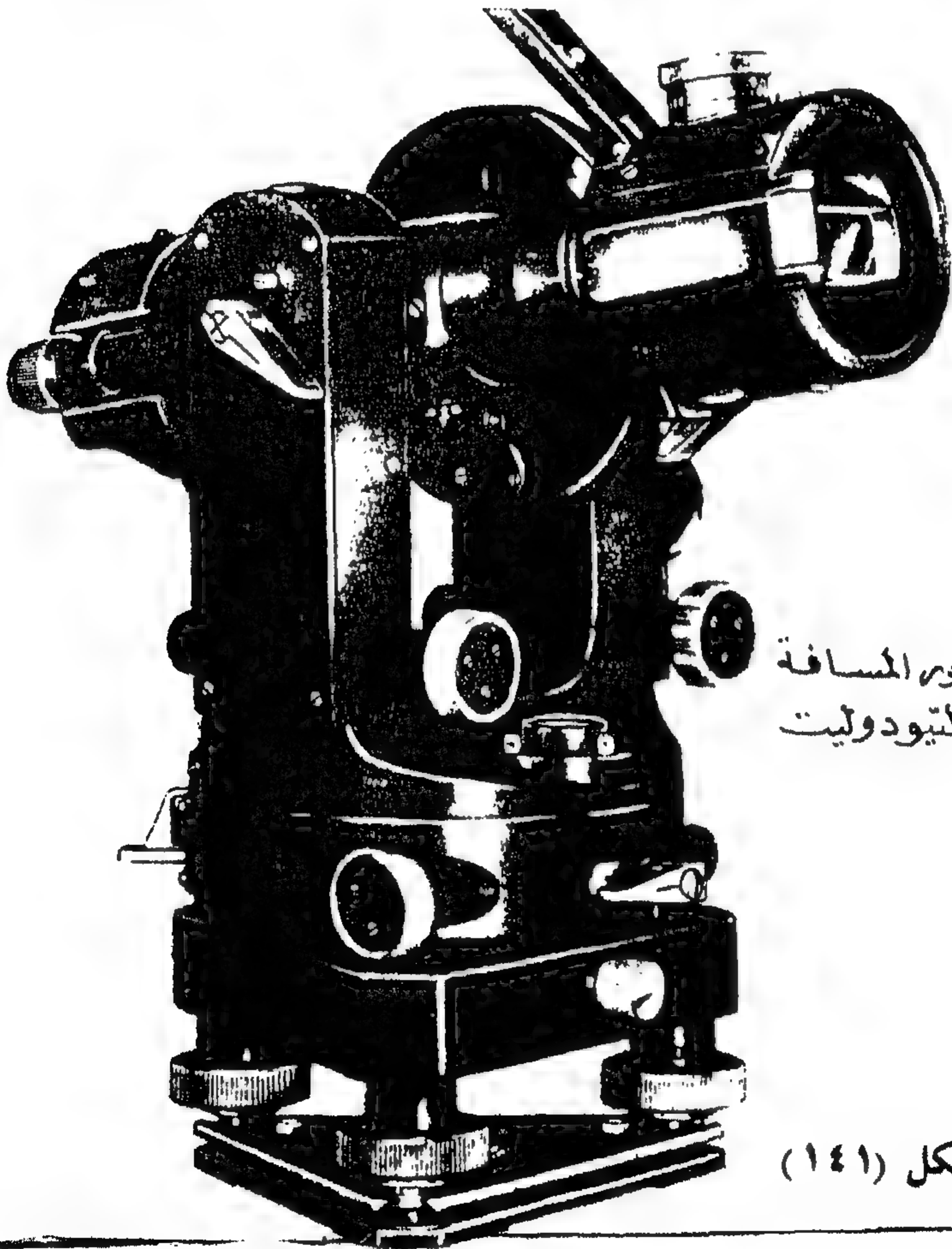
المنشور أمام الشبكية

شكل (١٤٠)



منشور المسافة

شكل (١٣٩)



منشور المسافة  
مع التيودوليت

شكل (١٤١)



(٩٤) ....

ف = م جتا هـ = ١٠٠ هـ جتا هـ

(٩٥) .....

ص = م جا هـ = ١٠٠ هـ جا هـ

حيث ( هـ ) زاوية الإرتفاع أو الإلتخفاض .  
ونقيس إرتفاع كل من الجهاز والقامة عن سطح الأرض .

منسوب نقطة القامة = منسوب نقطة الجهاز + إرتفاع الجهاز  
- إرتفاع القامة عن سطح الأرض  $\pm$  ص

(٩٦) .....

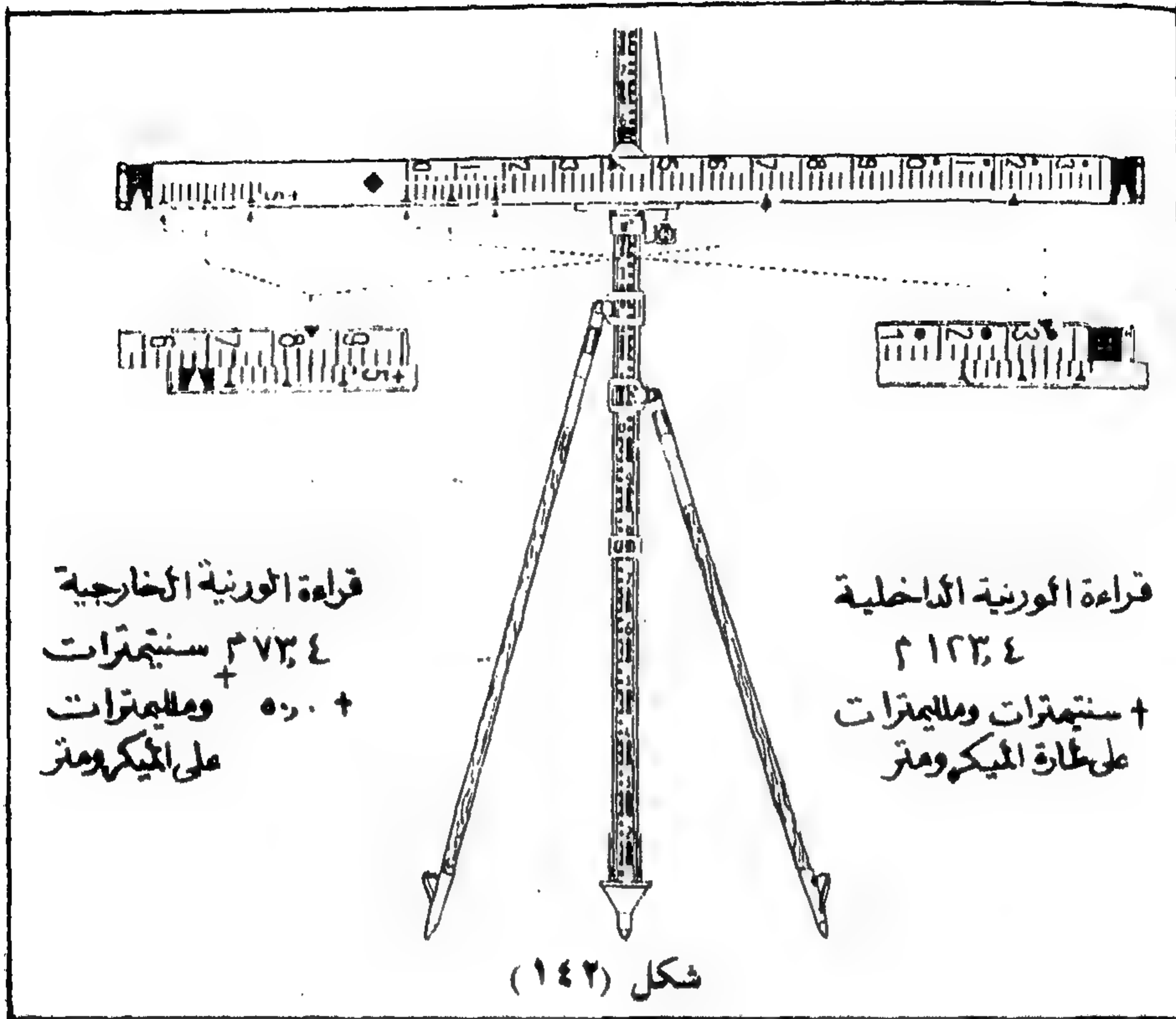
ولزيادة الدقة صمم منشور متوازي السطحين يدور حول محور رأسى ثابت بحيث ينحرف خط النظر موازياً لنفسه تماماً على القامة عند دوران المنشور بواسطة ميكرومتر خاص وذلك لعمل الأنطباق بين الورنية والمقياس تماماً على القامة .

والدورة الكاملة للميكرومتر تساوى وحدة قراءة الورنية على القامة وعادة يقرأ المقياس ٢ سم والورنية ٢ ملليمتر والميكرومتر ٠,١ ملليمتر أى أن هذه القراءات بالنسبة للمسافات تكون على القامة = ٢ م وعلى الورنية = ٢٠ سم وعلى الميكرومتر  $\pm$  ١ سم .

مميزات منشور المسافة :

١ - القراءة بالجهاز دقيقة لأستعمال ورنية على القامة والميكرومتر الملحق .





٢ — لا يوجد تصحيح بضرب الجزء المقطوع من القامة في ( جناه ) كما في شعرات الأستاذيا وذلك لأن القامة أفقية كما لا يوجد ثابت إضافي في معادلات المسافة .

٣ — لا تتأثر بالانكسار الجوي الرأسى .

٢ — التاكيومتر المختزل ذو المنشور — (الردتا )

( Reducing Tacheometer with distance Measuring Wedge )

نظرية الجهاز :

يعتبر هذا الجهاز حصيلة تعديل وتحسين في طريقة منشور المسافة حيث أدخلت تعديلات على جهاز منشور المسافة ، الغرض منها هو الحصول على المسافات الأفقية مباشرة سواء أكان خط النظر أفقياً أو مائلاً . وقد تم هذا



التعديل باستبدال المنشور الثلاثي بمنشورين متماثلين يقومان بنفس عمل المنشور الواحد في الوضع الأفقى ، أى ينحرف خط النظر خلالهما بما يعادل زاوية ظلها يساوى  $\frac{1}{100}$  ، ويدور كل من المنشورين في مستواه في اتجاه مضاد

لآخر بنفس المقدار ولذا فإنه عند استعمال الجهاز في حالة ميل المنظار نجد أن دوران المنشورين معاً في اتجاهين متضادين يعادل وجود منشور واحد بزاوية أقل من الزاوية الأصلية للمنشورين ويتوقف التغير في مجموع زاويتي المنشورين على قيمة زاوية الميل في خط النظر . فإذا كانت ( هـ ) هى زاوية ميل خط النظر فنجد أن قيمة انحراف خط النظر خلال المنشورين معاً تقل بما يعادل ( جتا هـ ) وبذا تكون المسافة المقروءة على القامة مباشرة هى المسافة الأفقية ومساوية ( ١٠٠ هـ جتا هـ ) .

ويكون فرق الارتفاع ص = ف ظا هـ .

ونجد أيضاً في هذا الجهاز أن منشور المسافة يعتبر جزءاً من الجهاز نفسه .

وهناك عدة أنواع من الأجهزة تستخدم هذه النظرية وأشهرها هو جهاز ردتا ( Redta 002 ) صناعة زايس وهو جهاز كامل به جميع الاحتياجات التى تتطلبها عملية القياس التاكيومتري وقد صمم هذا الجهاز بحيث يقوم بعمل جهاز التيودوليت .

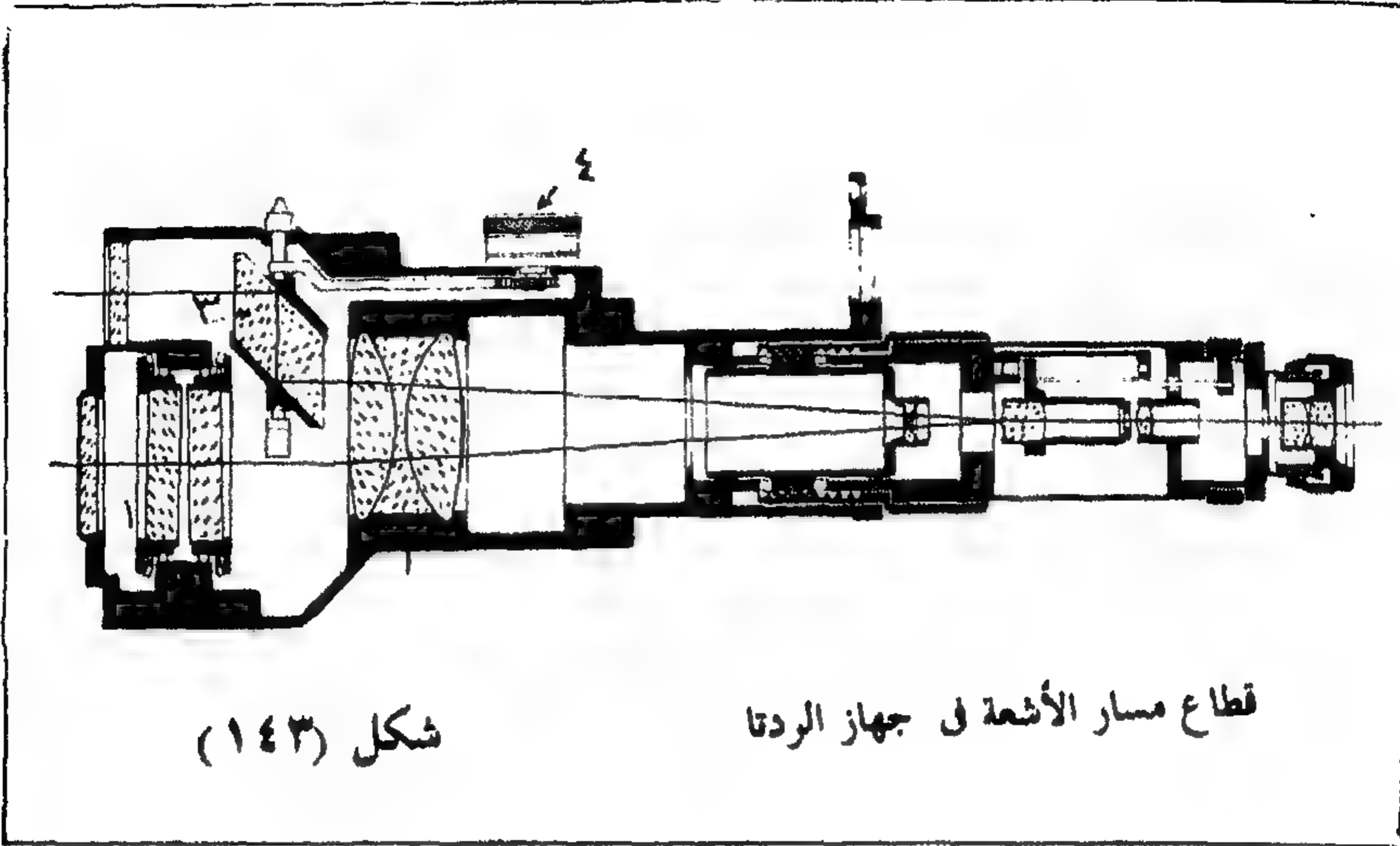
#### شكل ( ١٤٣ ) يبين قطاع في جهاز Redta 002

ولتعيين فرق الارتفاع بواسطة جهاز الردتا فنجد أنه يعطينا بالإضافة للزاوية الرأسية ( هـ ) قراءة ظل هذه الزاوية مباشرة من منظار القراءة الجانبى الملاصق للمنظار الرئيسى ومنها نحصل على الفرق الرأسى المطلوب ص .

ص = ف ظا هـ

وجهاز الردتا مزود أيضاً بمنشور متوازى السطحين ٣ ( لوح التوازى ) كما فى منشور المسافة يدور رأسياً بحيث ينحرف خط النظر موازياً لنفسه تماماً على





القامة عند دوران المنشور — ويدور هذا المنشور بواسطة ميكرومتر ٤ ، والغرض الأساسي منه هو تطبيق قراءات الورنية تماماً على القامة . وقامة الردتا هي نفس القامة الأفقية المستخدمة في جهاز منشور المسافة .

#### طريقة القياس :

١ — توجه القامة عمودية على خط النظر الواصل من الجهاز إليها بواسطة منظار صغير به مثلث ضوئي حتى ينطبق رأس المثلث على خيط الشاغول بالجهاز ، وعلى ذلك فإنه عند رصد الجهاز بهذا المنظار الصغير تصبح هذه عمودية على اتجاه خط النظر ويجب على الراصد التحقق من ضبط القامة قبل أخذ القراءات عليها — بأن يرى القامة موازية للشعرة الأفقية في المنظار — ونلاحظ أن هذه الخطوة هي نفس ما أتبع عند ضبط قضيب الأنفار .

٢ — نضبط الجهاز أفقياً عند الطرف الآخر للخط ونوجه المنظار إلى علامة ضوئية بيضاء في سطح القامة ونرى هذه العلامة ( من خلال المنظار ) رأسية لو كانت القامة متعامدة على خط النظر أو على شكل قوس منحني لو لم تكن كذلك .



٣ - ندير طارة خاصة فتجعل المنشور أمام الشيئية وتنقل صورة الورية أو الوريتين مسافة قدرها ( هـ ) . وتقرأ المسافة ف كالتالى :

القامة مقسمة إلى ديسيمترات ، ٢ سم ، وطول مقياس القامة يساوى ١٢٠ سنتيمتر ، ويوجد تحت هذا المقياس ورنيتان تقرأ كل منها ٢ ملليمتر وتوضع إحدى الوريتين بحيث ينطبق الصفر فيها على صفر المقياس ، بينما توضع الورية الأخرى قبل صفر المقياس بمقدار ٥٠ سنتيمتر تماماً . والغرض من ذلك أنه فى المسافات القصيرة حتى طول ١٢٠ متراً ، نجد أن صورة الورية الأولى تظهر تحت المقياس ، بينما إذا زادت المسافة عن ذلك فإن صورة هذه الورية تخرج عن حدود القامة . وفى هذه الحالة نأخذ قراءة القامة على الورية الأخرى ثم نضيف إلى هذه القراءة فرق المسافة بين صفر المقياس وصفر الورية وقدره خمسون سنتيمتر ، أى أننا فى هذه الحالة يمكننا تقدير الأبعاد إلى مسافة ١٧٠ متر تقريباً من الجهاز ، ولكى يتم أنطباق صفر إحدى الوريتين على قسم من أقسام المقياس فإننا نستعمل مسمار الميكرومتر الموجود فوق المنظار . وهذا الميكرومتر يلف اللوح المتوازى السطحين فينتقل خط النظر موازياً لنفسه نتيجة للأنكسار حتى يتم الأنطباق تماماً بين قسم المقياس وقسم الورية القريب منه ، ومقدار هذا الانتقال نقرأه على مسمار الميكرومتر ، ويضاف إلى القراءة الكلية على المقياس والورية .

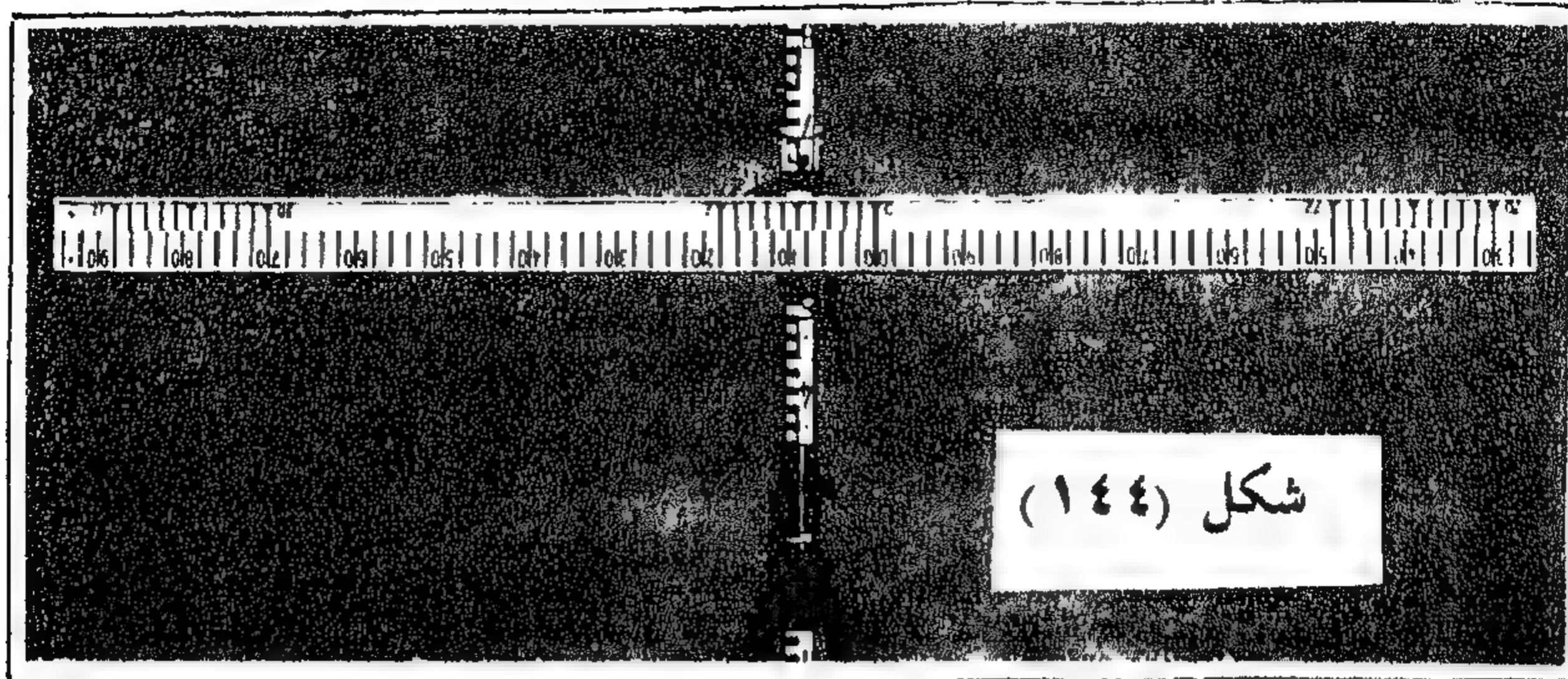
هذا ويمكن إتباع أوضاع القياس المذكورة فى حالة قضيب الأنفار عند قياس المسافات الكبيرة باستعمال جهاز الردتا .

### ٣ - جهاز RDH

وهو أيضاً على نفس نظرية الردتا وهو صناعة فيلد ويستعمل قامة أفقية شكل ( ١٤٤ ) كما أن شكل ( ١٤٥ ، ١٤٦ ) يبين مثالين لقراءة القامة .

المجموعة الثانية : وتتبع هذه الأجهزة المجموعة الثانية من التقسيم العام للمساحة التاكيومترية حيث أنها طرق وأجهزة تتواجد فيها القاعدة عند موضع





WILD 6126

Read:	Main graduation	74.00
	Vernier	1.80
	Micrometer (not shown)	.16
	Horizontal distance	<u>75.96</u>

شکل (۱۴۵)



WILD 6111

Main graduation,	one interval	2 m	f ex.	12.00
Vernier,	one interval	2 dm		40
Micrometer (not shown), one interval		1 cm		.06
Horizontal distance				<u>12.46</u>

شکل (۱۴۶)



الراصد وتكون هذه القاعدة جزءاً من جهاز التاكيومتر المستخدم وبهذا يستغنى عن وضع قامة عند الهدف وهذه ميزة كبرى خاصة في الأراضي الوعرة والصعبة الوصول إليها لوضع قامة في النقط بها . وأهم أجهزة هذه المجموعة هي :

١ — جهاز التليتوب ( جهاز القياس الطبوغرافى ) ( Teletop ) .

٢ — جهاز القاعدة المختزل ( BRT ) .

ويلاحظ أن نتائج القياسات بهذه الأجهزة غير دقيقة ولذا فهي تستخدم في الأعمال التي تكون الدقة العالية غير مطلوبة فيها كما في حالة المساحة الطبوغرافية والتفاصيل الجيولوجية والغابات ، وفي الأغراض العسكرية وأغراض الاستكشاف .

١ — جهاز التليتوب ( جهاز القياس الطبوغرافى ) :

وفيه زاوية البرالاكس ثابتة وتتغير طول القاعدة حسب المسافة المقاسة ويستعمل لإيجاد المسافات الأفقية والارتفاعات .

ويتركب الجهاز شكل ( ١٤٧ ) من ذراع (١) مقسم إلى ٣٠٠ ملليمتر يتحرك عليه غلاف بداخله منشور زجاجى (٢) وفي طرف الذراع تركيبه عبارة عن منظار صغير (٣) ومنشور زجاجى آخر (٤) ظل زاويته ثابتة والجهاز مزود بدائرة رأسية مدرجة لتعيين زاوية ميل خط النظر وكذلك بوصلة منشورية لقياس انحرافات الخطوط .

نظرية الجهاز :

يتحرك على الذراع الغلاف ذو المنشور الزجاجى ، الزاوية بين سطحيه العاكسين تساوى ٥٤٥° تماماً ، وعلى ذلك فإن الشعاع الضوئى المار به ينحرف عن خط سيره الأول بمقدار ٩٠° وبذا فإن الأشعة الضوئية التي تكون عمودية على هذا الذراع ، وتسير في داخل هذا المنشور ، وتخرج منه في إتجاه يوازي



الذراع نفسه ثم يتجه إلى منشور ثلاثي آخر مثبت عند المنظار فتغير خط سيرها مرة أخرى بزاوية قدرها ٥٩٠° وتتجه إلى عين الرصد من داخل المنظار . كما يوجد بداخل المنظار منشور آخر في مستوى أعلى من المنشور الأول أى أن السطح العلوى للمنشور الأول يكون في مستوى السطح السفلى للمنشور الثانى تماماً . وهذا المنشور ( ٤ ) يحرف خط النظر المار به بزاوية صغيرة ظلها  $\frac{1}{100}$  ويمكن إستخدام مناشير أخرى ذات زوايا ظلها أى مقدار آخر ثابت .

وعند رصد هدف ما بالمنظار فتظهر له صورتان فوق بعضهما شكل ( ١٤٧ ) أحدهما المباشرة عمودياً على الذراع والثانية المنعكسة عن طريق المنشور ( ٤ ) . وعندما تنطبق الصورتان تماماً شكل ( ١٤٨ ) فمعنى ذلك أن الشعاع الصادر عن المنشور المنزلق يقابل الشعاع الآخر المار بالمنشور ( ٤ ) عند الهدف تماماً وبذلك يتكون المثلث الفراغى شكل ( ١٤٩ ) الذى رأسه عند الهدف وقاعدته عند الجهاز وإحدى زواياه قائمة وزاوية رأسه هى زاوية إنحراف المنشور الثابت ( ٤ ) المثبت عند المنظار . وعليه تكون المسافة المطلوب تعيينها تساوى القاعدة م<sub>١</sub> × ظل زاوية المنشور المستخدم وتدرج القاعدة م<sub>١</sub> حسب زاوية المنشور لتعطى المسافة مباشرة .

#### استعمال الجهاز :

١ — نضع شاخصاً عند النقطة المطلوب إيجاد بعدها ومنسوبها . وإذا كانت هذه النقطة هدفاً ثابتاً مثل مبنى أو شجرة مثلاً فيرصد على الهدف مباشرة .

٢ — نضع الجهاز على الحامل الثلاثى الخاص به عند الطرف الآخر للخط ونسامته ونعده للرصد .

٣ — نرصد الهدف بالمنظار فيظهر له صورتان فوق بعضهما ، ثم نحرك المنشور المنزلق فوق ذراع الجهاز حتى نحصل على الوضع الذى تظهر فيه



الصورتان متكاملتان تماماً في الوضع الرأسى ويكون هذا هو الوضع الصحيح للرصد كما في شكل ( ١٤٨ ) ونقرأ المسافة ( م ) من على الذراع مباشرة .

هذا ويستعمل مع الجهاز مناشير تتراوح ظلالتها من  $\frac{1}{100}$  إلى  $\frac{1}{1000}$

والجدول ( ٢١ ) يبين قيم ثوابت المنشور المستخدمة ومدى القياس المناسب لاستعمال كل منها علاوة على النسبة المئوية لخطأ القياس .

### جدول ٢١

ظل زاوية المنشور	مدى القياس لاستعماله	النسبة المئوية للخطأ فى القياس
١٠٠ / ١	٢ — ٣٠ متراً	٠,٢
٢٥٠ / ١	٤ — ٧٥ متراً	٠,٣
٥٠٠ / ١	٨ — ١٥٠ متراً	٠,٥
١٠٠٠ / ١	١٥ — ٢٠٠ متراً	١,٠
٢٠٠٠ / ١	٣٠ — ٦٠٠ متراً	٢,٥ — ٣,٠

ولتعيين المسافات الأفقية للخطوط المقاسة يجب قياس زوايا الارتفاع وبذا تكون :

ف = م جتا هـ ، ص = م جا هـ .

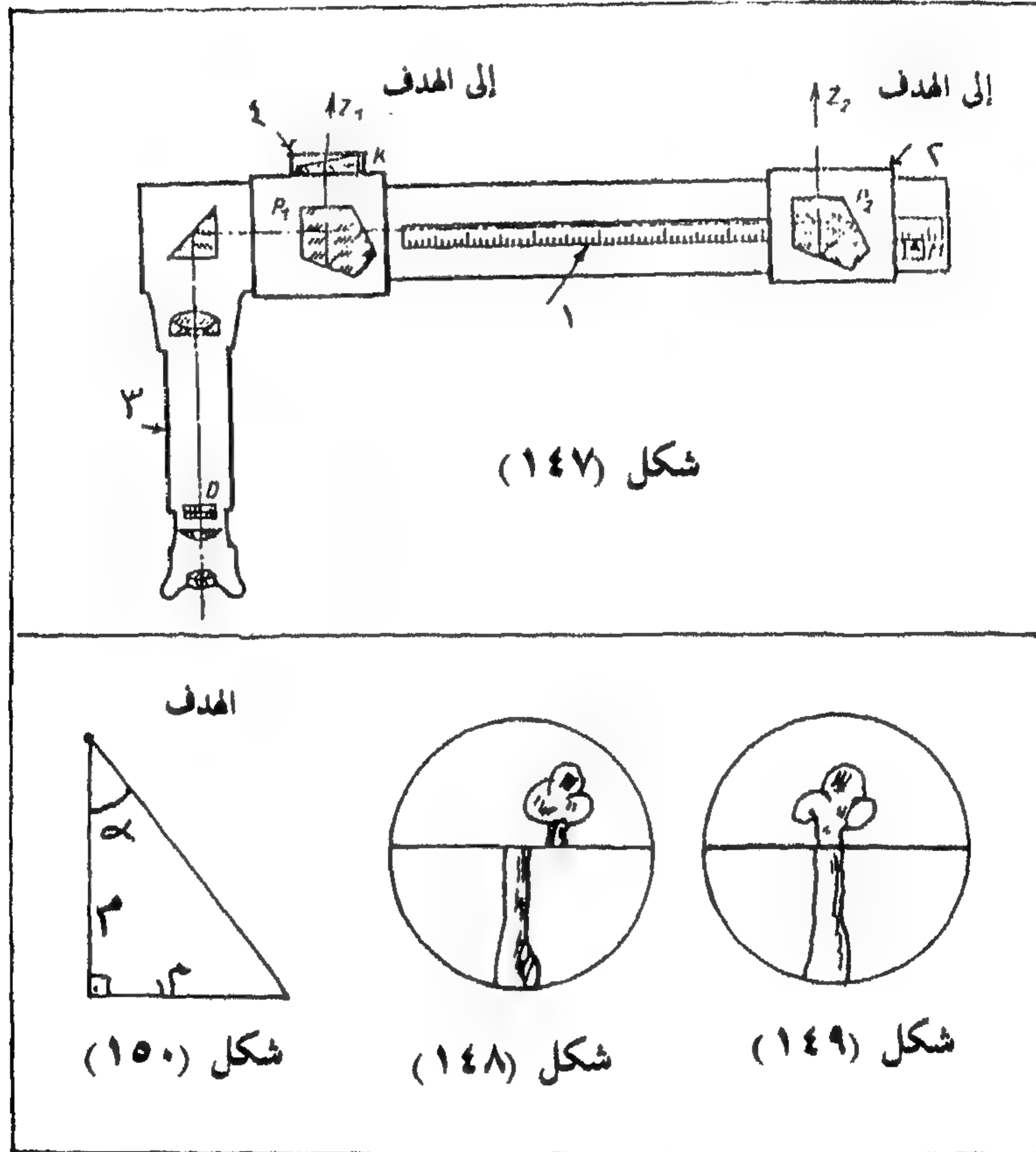
حيث م = المسافة المائلة المقاسة مباشرة من الجهاز .

هـ = زاوية الارتفاع والتي تقاس بالدائرة الرأسية بالجهاز .

وهناك جدول خاص مرفق بالجهاز للمقادير التى تطرح من المسافة المائلة للحصول على المسافة الأفقية مباشرة .



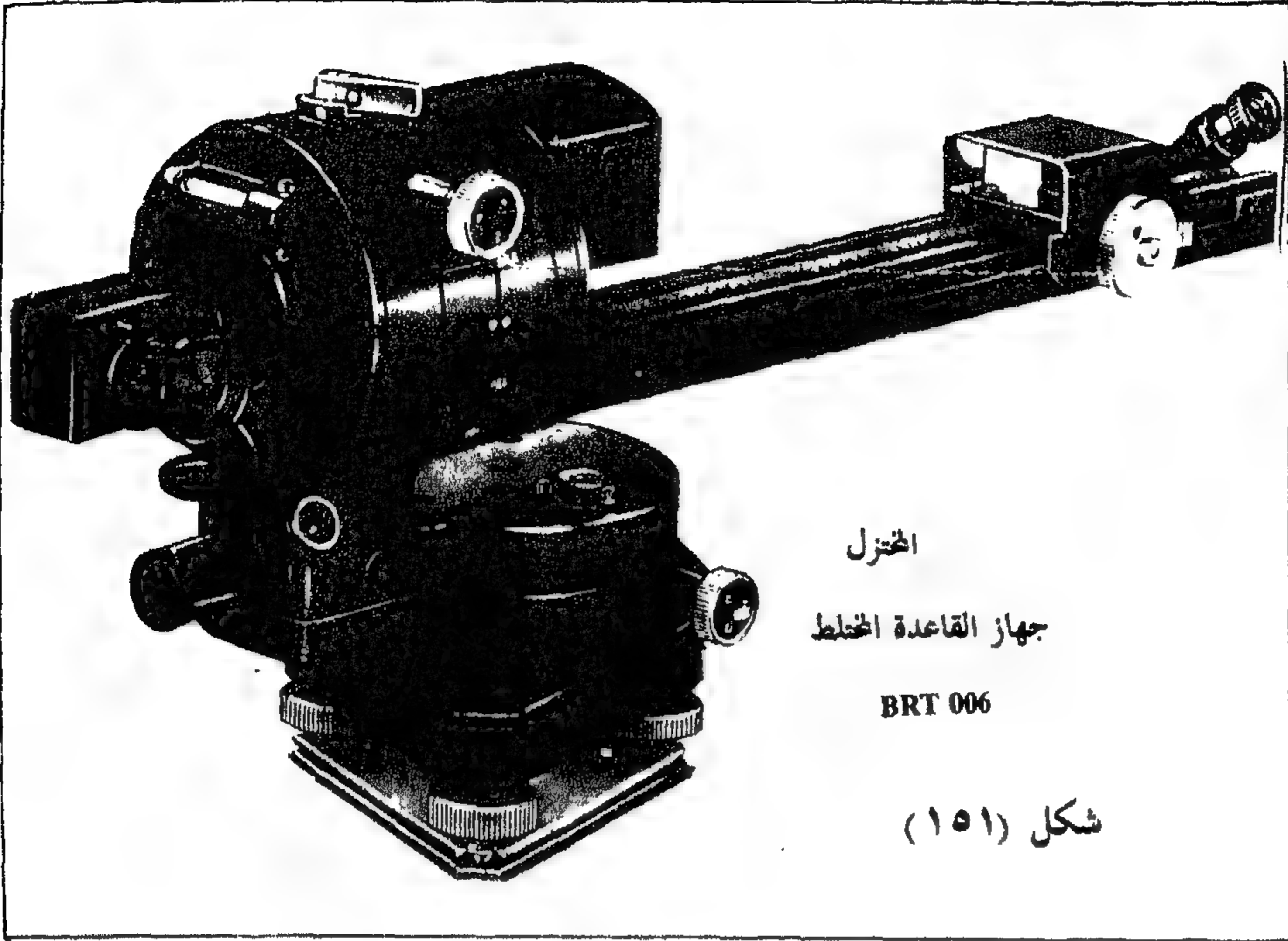
ويمكن استعمال هذا الجهاز في قياس الارتفاعات الرأسية مباشرة من الطبيعة إذا كانت هذه الارتفاعات فوق الراصد ، مثل الترقيم في أسلاك التليفون والخطوط الكهربائية أو الأسقف والجمالونات أو ما شابه ذلك ، نك الجهاز من قاعدته ونثبت به مقبضاً خاصاً ثم نرصد به الهدف المطلوب ونقيس إرتفاعه فوق الراصد .



## ٢ — جهاز القاعدة المختزل ( Base Reducing Tacheometer )

الأسم الاصطلاحي لهذا الجهاز هو ( BRT 006 ) ، وهو قريب الشبه من جهاز التليوتوب ويعتبر تعديلاً وتحسيناً له شكل ( ١٥١ ) . وبهذا الجهاز يمكن تعيين المساقط الأفقية للمسافات المائلة مباشرة بدون الحاجة إلى الحساب وهو





المختزل  
جهاز القاعدة المختلط

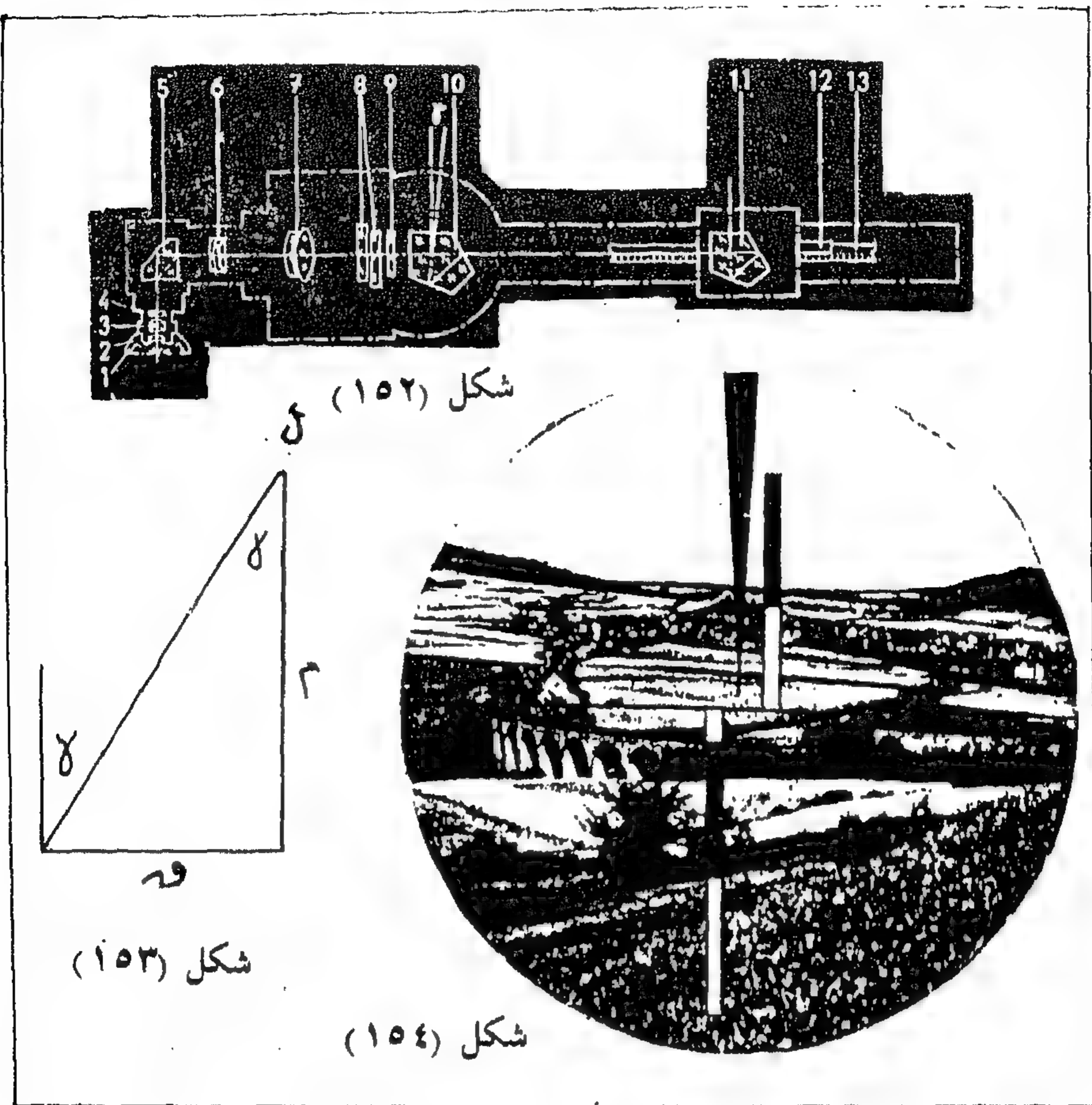
BRT 006

شكل (١٥١)

يعطى نتائج دقيقة كما أنه يقيس المسافات في حدود ٣ إلى ٦٠ مترا فقط ، لذلك لا يستعمل في الأعمال الطبوغرافية والأفضل استعماله في قياس أطوال المضلعات وخاصة إذا تعذر القياس بالطرق العادية ، ويمكن زيادة طول المدى إلى ٢٤٠ مترا بوضع قامة أفقية عند طرف الخط .

والثابت التاكيومتري للمنشور العاكس بهذا الجهاز يساوى ٢٠٠ بالنسبة إلى وحدات الجهاز ، وهي وحدات خاصة به مرقومة على ذراع الجهاز ( ١٣ ) شكل ( ١٥٢ ) وطوله ٣٠٠ ملليمتر ومقسمة إلى نصف ملليمترات ويمكن تقدير ٠,٠٥ من الملليمتر بسهولة . هذا يمكن القياس بدقة إلى الديسيمترات وبالتقدير إلى السنتيمتر . ويمكن تحريك المنشور الثلاثي على ذراع الجهاز إما بالحركة السريعة أو الحركة البطيئة حسب الرغبة في ذلك بواسطة مسمار خاص وبهذا يمكن الرصد على الأهداف بكل دقة .





ويمكن بواسطة هذا الجهاز أيضاً قياس المسافات المائلة مباشرة من الطبيعة عند الحاجة إلى ذلك — حيث أنه يوجد بالجهاز مسمار لتحويل القياس من المسافة الأفقية إلى المسافة المائلة أو بالعكس . والنظرية التي على أساسها يقوم هذا الجهاز بتحويل المسافات المائلة إلى مساقطها الأفقية ، هي استعمال المنشورين المتوازيين السابق ذكرهما في جهاز القياس التاكيومتري ( ردتا ) .

والجهاز به دائرة أفقية لقياس زوايا الارتفاع والانخفاض . كما يمكن أخذ مقادير الظلال منه مباشرة لتحديد الفرق الرأسى في المنسوب .

شكل ( ١٥٢ ) يبين النظرية التي بنى عليها عمل الجهاز ومجموعة



المنشورات والعدسات التى يتركب منها الجهاز وتقوم بالعمل داخل الجهاز ، وفيه نجد منشور خماسى منزلق ( ١١ ) وهو إلى اليمين فى الشكل وموضوع أمام الجزء السفلى من عدسة الشيئية ( ٧ ) ومنشور خماسى ثابت ( ١٠ ) أمام الجزء العلوى من الشيئية . والمنشور ( ١١ ) يحرف الشعاع الضوئى الواصل من الهدف ( ل ) بزاوية قدرها ٥٩٠° فيسير الشعاع الضوئى فى اتجاه الذراع ناحية المنظار ، بينما المنشور ( ١٠ ) يحرف الشعاع الضوئى بزاوية قدرها ( ٥٩٠° - ٧ ) وبذا يتكون مثلث فراغى قائم زاوية رأسه ثابتة تساوى ( ٧ ) وقاعدته ( ق ) متغيرة شكل ( ١٥٣ ) ومنه يمكن إيجاد المسافة المائلة ( م ) .

$$م = ق \cdot \gamma = \text{ث} . ق \dots\dots \text{حيث } \gamma = \frac{1}{200}$$

يحرك المنشور ( ١١ ) حتى تنطبق الصورة العليا للهدف مع الصورة السفلى وشكل ( ١٥٤ ) يبين الصورتين قبل الانطباق .

#### دقة الجهاز :

١ — متوسط دقة الجهاز ٠,٦% من المسافة فى الحدود بين صفر ، ٦٠ متراً وأقصى دقة يمكن أن نصل إليها ٠,٣% .

٢ — يتوقف الحصول على هذه الدقة تحقيق الجهاز على فترات كل منها أسبوعاً واحداً ويجرى التحقيق بقياس مسافة معلومة ثم ضبط منشور الجهاز .

٣ — الألتواء أو التقوس البسيط الذى يمكن أن يحدث بالذراع نتيجة لتعرضه للحرارة مثلاً له تأثير كبير على دقة قياس المسافات ولذا يجب حماية الجهاز ضد حرارة الشمس أو استعماله فى الظل .

٤ — أحسن النتائج التى نحصل عليها فى المسافات بين ٢٠ ، ٤٠ متراً .



## الباب السادس عشر رفع منطقة بالتاكيومتر

### طريقة العمل :

١ — نختار مضلع للمنطقة مثل ا ب ح د هـ شكل ( ١٥٥ ) ونضع الجهاز فوق إحدى النقط وليكن ( ا ) .

٢ — يحدد إرتفاع الجهاز من محور المنظار الأفقى إلى نقطة ا .

٣ — نضع القامة على نقطة معلومة المنسوب ونستنتج منسوب ( ا ) بالحساب من نظرة أفقية أو مائلة وننقل القامة إلى النقط التى تتغير فيها طبيعة الأرض مثل ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ وتؤخذ عند كل نقطة قراءات الشُعرات الثلاث على القامة وانحراف الإتجاه إلى النقطة بالنسبة إلى أحد أضلاع المضلع أو الانحراف الدائرى إذا كان الجهاز مزوداً ببوصلة ( فى حالة استعمال طريقة الاستاديا ) . نقيس أضلاع المضلع ونعين مناسب النقط المجاورة فى المضلع .

٤ — ننقل الجهاز إلى ( ب ) ونكرر ما سبق ، وهكذا نقطة بعد أخرى حتى نهاية نقط المضلع .

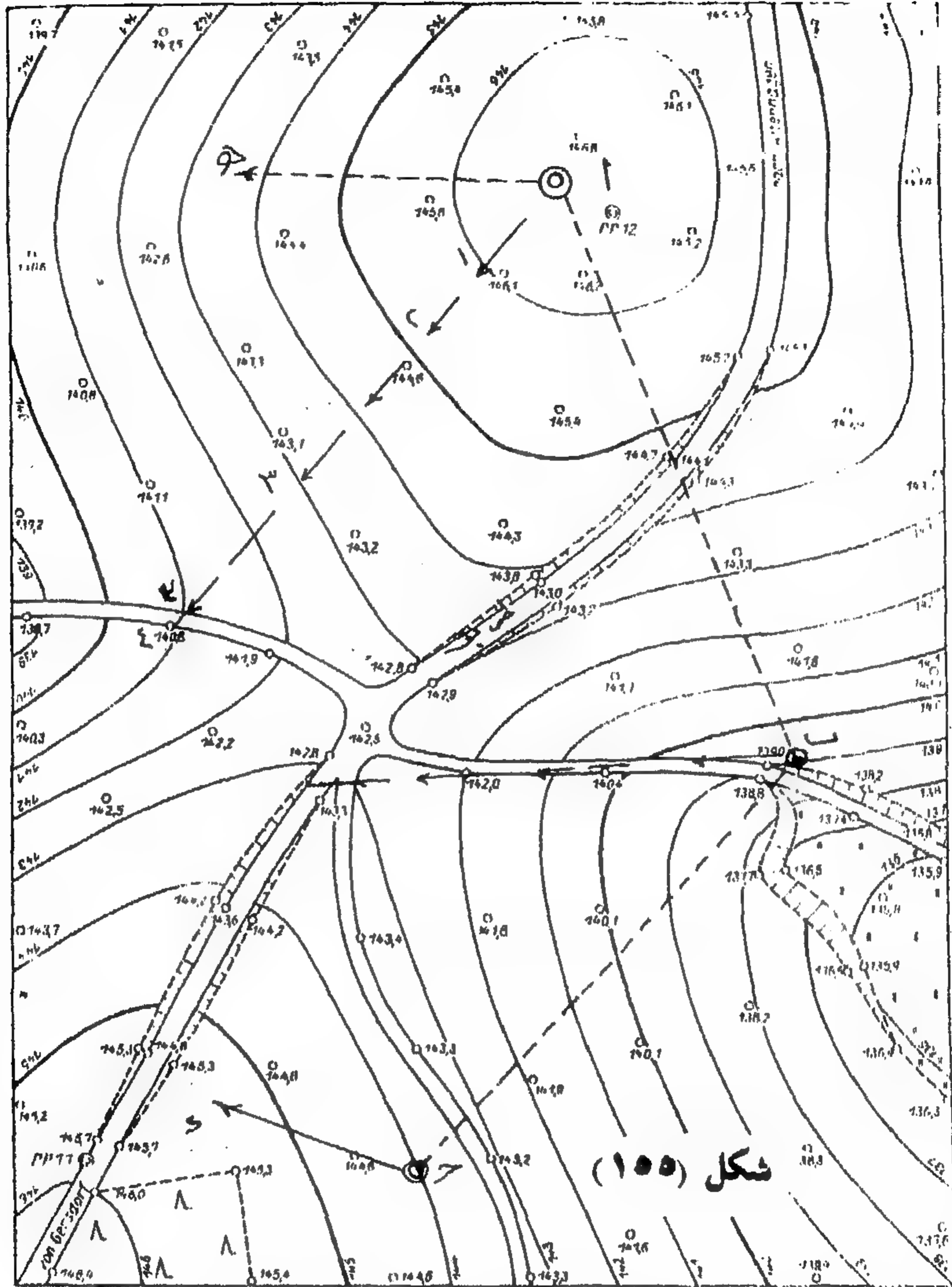
٥ — يجب تحقيق مناسب نقط الترافرس الأصلى بالميزان إن أمكن .

٦ — يعمل كروكى للأتجاهات والنقط حتى لا تتداخل الأرصاد عند توقيعها فى المكتب بعد ذلك .

### احتياطات هامة فى العمل :

١ — إذا كانت أطوال أضلاع الترافرس تعين تاكيومترياً فيجب أن يجرى ذلك مرتين بين طرفى المضلع وغالباً ما تجرى باستعمال قضيب الأنفار أو الردتا للحصول على دقة عالية .





- ٢ - يجب التأكد من رأسية القامة ( في حالة شعرات الأستاذيا )  
ويستحسن تثبيت ميزان تسوية دائرى خلف القامة لهذا الغرض .
- ٣ - يجب بقدر الإمكان عدم أخذ قراءة الشعرة السفلى إذا كانت قريبة جداً من الأرض بسبب الإنكسار الجوى في هذه المنطقة .



٤ — عند رفع مناطق شاسعة يحسن إستخدام التاكيومترات المزودة بمنحنيات استاديا لسرعة وسهولة الاستعمال .

٥ — فى حالة قياس زوايا رأسية يحسن جعل القرص الرأسى يقرأ إلى أقرب دقيقة صحيحة لسهولة إستخراج النسب المثلثية .

٦ — فى حالة إستحالة قراءة الشعرة العليا لوجود عائق مثلاً أو لبعد المسافة تؤخذ قراءتا الشعرتين السفلى والوسطى ويستنتج منها قراءة الشعرة العليا .

٧ — فى المقاييس الكبيرة يستحسن إستعمال الطرق التاكيومترية فى التفاصيل فقط أما فى المقاييس الصغيرة فيمكن إستعمالها كلية للمضلع والتفاصيل .

٨ — يجب تحقيق المناسب بالربط على روبيرات أو نقط معلوم منسوبها كلما تيسر ذلك .

### عمل المكتب :

١ — نحسب المسافات والمناسيب فى دفتر الغيط وطرق تدوين الأرصاء كثيرة مبين إحداها فى الجدول ( ٢٢ ) .

٢ — نعين نقط الترافرس على اللوحة إما بالمنقلة والقياس أو بإستخدام جهاز توقيع الأحداثيات القطبى أو حسابياً .

٣ — نرسم من كل نقطة من المضلع أشعة فى الاتجاهات المرصودة ، ونوقع عليها مسافات النقط التى أوجدنا مناسبها بالأستعانة بالكروكى المرسوم وبذا يمكن الحصول على خريطة بها التفاصيل وعمل خطوط الكونتور من واقع المناسب إذا أردنا ويمكن إستعمال جهاز كارتى ( Karti ) بنجاح تام وهو جهاز شبيه بالبلاانشطة فى عمله ويستخدم دائماً مع تاكيومتر دالتا .

٤ — يمكن إستعمال البلاانشطة واليداد البلاانشطة كتاكيومتر وتوقيع المناسب والتفاصيل مباشرة على الخريطة .



## مثال على المساحة التاكيومترية

عملت المساحة التاكيومترية المبين أرصادها في جدول ( ٢٢ ) بجهاز تاكيومتر به عدسة تحليلية وثابتة التاكيومتري ١٠٠ ومنسوب  $33,88 =$  متراً .

## مصادر الأخطاء في المساحة التاكيومترية

فضلاً عن مصادر الأخطاء في العمل بالتاكيومتري فإن العمل في المساحة التاكيومترية معرض لكثير من مصادر الأخطاء في الميزانية وعلى العموم يمكن تقسيم مصادر الأخطاء في إيجاد المسافات والارتفاعات بطريقة شعرات الأستاذيا إلى ثلاثة أنواع هي :

### أولاً - أخطاء شخصية :

أ - الخطأ في قراءة القامة ومن الأخطاء الشائعة قراءة الشعرة الوسطى بدلاً من إحدى شعرتي الأستاذيا وبذا نحصل على نصف المسافة الصحيحة ويمكن تلافي الوقوع في مثل هذا الخطأ بتقدير المسافة بالعين المجردة ، وكثير من الأجهزة يجهز دليلها بشعرات قطرية لهذا السبب .

ب - الخطأ في قياس الزوايا الرأسية ويجب الاحتياط تماماً في قياسها خاصة إذا كانت زاوية الميل كبيرة والمسافة طويلة .

وبدراسة معادلات طريقة الأستاذيا نجد أن الخطأ في قياس الزوايا الرأسية في الأحوال العادية ليس بذى أثر هام على المسافة الأفقية المحسوبة فمثلاً خطأ مقداره دقيقة واحدة في قياس زاوية رأسية قدرها  $55^\circ$  يؤثر على دقة تعيين المسافة الأفقية بمقدار  $\frac{1}{20000}$  بينما لو كانت الزاوية الرأسية  $515^\circ$  فإن التأثير

يكون  $\frac{1}{10000}$



جدول ( ٢٢ )

(١٦)	(١٥)	(١٤)	(١٣)	(١٢)	(١١)	(١٠)	(٩)	(٨)	(٧)	(٦)	(٥)	(٤)	(٣)	(٢)	(١)
منسوب موضع القمة - (١٥) + (١٦) =	منسوب الخور (٩) + (١٠)	موقع الجهاز	المسافة الرأسية ن	المسافة الأفقية في ١٠٠ = هـ ج ٢ ن	قراءة الشعرات	الزاوية الرأسية ( ن )	الانحراف	موضع القاعة	ارتفاع محور الجهاز	موقع الجهاز	موقع	الجهاز	أرضاع محور	الجهاز	١
٢٣,٥٧	٢٣,٦٥	٢٢,١٨	١,٩٢ +	٤٧,٩٢	١,٧٦ ٢,٠٠ ٢,٢٤ ٢,٧٨ ١,٩٦ ٢,١٤	٠ ٢ ١٨ +	٠ ١٧ ١٢	١	١,٤٧	...	...	...	...	...	...
١٩,٠٢	٢٣,٦٥	٢٢,١٨	٢,٦٧ -	١٣٥,٨٠	٢,٠٣ ١,٣٢ ٢,٦١ ٢,٢٥ ١,٣٢ ٢,٣٩ ١,٧٦ ١,٠٤ ٠,٣٢ ٢,٧٧ ١,٦٩ ٠,٦١ ٢,٩٩ ١,٧٥ ٠,٥١	٠ ٤ ١٦ -	٠ ١٧ ٤ ٨	٢	...	...	...	...	...	...	...
٢٦,٢١	٢٣,٦٥	٢٢,١٨	٣,٨٨ +	١٤١,٨٦	...	٠ ١ ٣ ٤ +	٠ ٦ ٥ ٣ ٠	٣	...	...	...	...	...	...	...
٣٥,٧٣	٢٧,٨٨	٢٦,٢١	٩,١٧ +	١٨٥,٦٣	...	٠ ٢ ٥ ٠ +	٠ ١ ٠ ٨ ٥ ٠	٤	١,٦٧	...	...	...	...	...	...
١٩,٨٦	٢٧,٨٨	٢٦,٢١	٦,٩٨ -	١٤٣,٧١	...	٠ ٢ ٤ ٧ -	٠ ١ ٠ ٨ ٥ ٠	٥	...	...	...	...	...	...	...
١٤,٥٣	٢٧,٨٨	٢٦,٢١	١١,٦٦ -	٢١٥,٣٥	...	٠ ٣ ١ ٦ -	٠ ١ ٠ ٨ ٥ ٠	٦	...	...	...	...	...	...	...
٤٥,٩٠	٢٧,٨٨	٢٦,٢١	١٩,٧٧ +	٢٤٦,٤١	...	٠ ٤ ٣ ٥ +	٠ ١ ٣ ٦ ٣ ٠	٧	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



وتأثير الخطأ في قياس الزوايا الرأسية على قيمة فرق الارتفاعات هام نسبياً  
فمثلاً خطأ مقداره دقيقة واحدة في أى زاوية رأسية في القطاع العادي يعطى  
خطأ مقداره ٤ سم تقريباً في الارتفاع إذا كانت المسافة الأفقية ١٠٠ متر  
لذلك يجب أن يكون الخطأ الناتج من عدم وضع القامة رأسية تماماً ويزداد تأثير هذا الخطأ  
بازدياد زاوية الميل .

ومن الشروط الواجب إتخاذها في أعمال المساحة التاكيومترية أن تكون  
القامة رأسية تماماً إذ أن ميل القامة يسبب خطأ في المسافة المقيسة ويزداد  
مقدار هذا الخطأ كلما زادت زاوية ميل خط النظر فمثلاً إذا كان لدينا قامة  
طولها ٤ متر وكانت قمته تبعد عن الوضع الرأسى ٥ سم إلى الناحية المضيئة  
من الجهاز (أى ميل ٥٣ ' ٥٢ عن الرأسى) وكانت المسافة = ١٠٠ متر  
والزاوية الرأسية ٥٥ فإن الخطأ الناتج = ١.٢ سم على القامة أى ١.٢ متر في  
المسافة إما إذا كانت الزاوية الرأسية ٥١.٥ فإن الخطأ في الجرم المقيس على  
القامة = ٣.٣ سم أى ٣.٣ متر في المسافة .

وفي بعض الأعمال التاكيومترية يجب جعل القامة رأسية بواسطة جهاز  
تسوية خاص إذا كانت زاوية ميل خط النظر كبيرة  
١ - وهو في الواقع ليس كذلك وهذا من أهم مصلحتي في الخطأ في المساحة  
التاكيومترية لأنه خطأ تراكمى ويمكن تلافيه بالإبقاء التام على التسوية في

هذا الباب  
(٢٥١٦)

ثانياً - أخطاء آية :

معظمها ينصب على أخطاء التيسير والليث مثل أخطاء التسوية والتسوية  
التسوية الخاص بالدائرة الرأسية وكذلك الخطأ في تدوير الجهاز وتجهيزها أو  
انكماشها وهذا يمكن إهماله في الأعمال العادية ، ولكن في الأعمال الدقيقة  
يجب معايرة القامة وإجراء التصحيح اللازم من القراءات .



### ثالثاً — أخطاء طبيعية :

وأهمها الرياح واختلاف تأثير الانكسار الجوى على قراءتى شعرتى الاستاديا ولتلافى تأثير الانكسار يجب ألا يمر خط النظر ( المار بالشعرة السفلى ) على مسافة تقل عن متر من سطح الأرض وهذا الاحتياط تزداد أهميته خاصة أثناء ساعات منتصف النهار . وأهمية هذا الخطأ ضئيلة فى الأعمال العادية التى تكون الدقة المطلوبة فيها  $\frac{1}{1000}$  أو أقل .

ونحصل على أحسن النتائج بالرصد فى الصباح الباكر بين السابعة والتاسعة أو مساء بين الرابعة والسابعة أو فى الجو الملبد بالغيوم وفى هذه الفترات يقل تغير الانكسار إلى أقصى حد نتيجة لعدم اختلاف كثافة طبقات الهواء القريبة من الأرض عن بعضها البعض . وإذا اضطررنا للعمل أثناء منتصف النهار نأخذ قراءتى الشعرتين العليا والوسطى ونضرب الفرق فى ٢ .

### الخطأ المسموح به :

١ — فى حالة الترافرس السريع الطويل فى منطقة وعرة ونظرات طويلة متعددة والزوايا مقروءة إلى دقائق ولكن بدون دقة كبيرة .

خطأ القفل المسموح به فى الأضلاع = ٥ متر لكل كيلو متر  
خطأ القفل فى المناسيب = ٦٠ سم لكل كيلو متر

٢ — كما فى الحالة (١) ولكن فى منطقة ممهدة أو الزوايا الرأسية صغيرة خطأ القفل فى المناسيب بالقدم = ٥,٠ ٧ المسافة بالميل .

..... (٩٧)



## مسائل

١ - تاكيومتر مزود بثلاث شعرات المسافة بين كل زوج منها =  $\frac{1}{4}$  من

البوصة والبعد البؤري للشيئية = ٩ بوصة - المسافة من الشيئية للمحور  
الرأسي =  $\frac{1}{2}$  ٤ بوصة - وضعت قامة رأسية عند نقطة منسوبها ٨٠ قدم -

أميل المنظار ٥٩ على الأفقى وكانت قراءات القامة ٣,٦٣ ٥,١٤ ٦,٦٥ قدم  
أوجد المسافة الأفقية بين الجهاز والقامة - وكذلك منسوب خط النظر علماً  
بأن إرتفاع الجهاز = ٤,٥ قدم .

٢ - أخذت القراءات الآتية على قامة رأسية موضوعة عند نقطتين بواسطة  
جهاز تاكيومتري بغرض تعيين الثابت التاكيومتري والأضافي . عين الثابتين :

قراءات القامة	زاوية الارتفاع	المسافة الأفقية
٢,٣١٣ ٣,٠٥٩ ٣,٨٠٦ قدم	صفر	١٥٠ قدماً
٦,١٤٦ ٧,١٥٠ ٨,١٥٤ قدم	٥٥	٢٠٠ قدماً

٣ - عين معدل الانحدار بين نقطتين أ ، ب من الأرصاد الآتية المأخوذة  
بتاكيومتر مجهز بعدسة تحليلية وثابتة التاكيومتري ١٠٠ .

من الجهاز	إلّاخراف	القراءات	الزاوية الرأسية
إلى أ	٥٧٥	١,٢٠ - ٢,٠٠ - ٢,٨٠	١٢ + '٥١٠
إلى ب	٥٣٤٥	٢,٩٠ - ٢,١٠ - ١,٣٠	٤٨ - '٥٤

٤ - تيودوليت مزود بعدسة تحليلية وثابتة التاكيومتري ١٠٠ وضع عند  
نقطة ب وكان إرتفاع المحور الأفقى للجهاز ١,٣٥ متر وأخذت الأرصاد  
التالية :



الجهاز عند إلى	الدائرة الأفقية	الدائرة الرأسية	القراءات
١	٠٠ ٢١ ٥٢٨		

ح ٠٠ ٣ ٥٨٢ + ٣٠ ٥٢٠ ١١٨ ٢٠٠ ٢٠٠ ٢٠٨٢ متر

فإذا كانت إحداثيات نقطة أ هي ٥٤٦,٢ شرقاً ، صفر شمالاً وإحداثيات ب هي ٥٤٦,٢ شرقاً ، ٣٩٤,٦ جنوباً — فعين إحداثيات نقطة ح ومنسوبها إذا كان منسوب نقطة ب هو أربعة أمتار تحت سطح البحر .

٥ — قمة تل معلوم من إرتفاعها بأنه ٢٠,٥٥ متر فوق سطح المياه في بحيرة — رصدت هذه القمة من الجانب الآخر للبحيرة ، وكانت زاوية إرتفاعها ١٠' ٥٥ فإذا كانت زاوية إنخفاض صورة القمة في مياه البحيرة ٤٠' ٥٨ .

أوجد المسافة الأفقية من الجهاز إلى التل — وأوجد كذلك الفرق بين منسوبي النقطتين . اعتبر أن معامل الإنكسار للماء هو نفسه للهواء .  
( الجواب المسافة الأفقية ١٦٩٢٧ متر المنسوب ١٥٣٠ متراً ) .

٦ — عند ميل خط النظر في تاكيومتر درجتين اعتبرت أن المسافة المائلة تساوي المسافة الأفقية . ما هو الخطأ النسبي في تحديد هذه المسافة ؟ .

٧ — أوجد إلى أى زاوية رأسية يمكن إعتبار المسافة المائلة تساوي المسافة الأفقية في القياس التاكيومتري بحيث أن الخطأ لا يزيد عن ١/٣٠٠ . توجد عدسة تحليلية .

٨ — وضعت قامة رأسية ورصدت بتيودوليت عادي ورصدت الزوايا الرأسية لهدفين على القامة ، فإذا كانت المسافة الرأسية بينهما = ٤,٢٦ متراً والفرق بين ظلي زاويتي الارتفاع = ٠,٠٤٤ ما منسوب نقطة القامة إذا كان ظل زاوية الهدف السفلي = ٠,١٦١ والارتفاع من الأرض للهدف العلوي = ١,٧٥ متر ومنسوب سطح الجهاز تحت سطح البحر بمقدار ٤ متر .



٩- أ ب ح حدود قطعة أرض ، وضع الجهاز المزود بمنشور المسافة فوق  
 أ ورصدت القامة الخاصة به فكانت قراءة صفر الورنية = ١٢٢,٤ وقراءة  
 الميكرومتر ١٦,٤ وإرتفاع الحامل فوق ب = ١,٦٦ متراً وزاوية إنخفاض  
 القامة ٥٢٤ على إعتبار أن منتصف القامة هو الذى رصد . وضع جهاز الردتا  
 فوق ح وأستعملت نفس القامة الخاصة بمنشور المسافة فوق ب فكانت قراءة  
 صفر الورنية = ٢٤٤,٦ والميكرومتر ١١,٥ وكانت زاوية إرتفاع القامة =  
 ٥١٨ . فإذا كان إرتفاع الجهاز فوق أ = ١,٤٤ متراً وإرتفاع خط النظر للردتا  
 فوق ح = ١,٦٦ متراً ومنسوب أ = ١٧ متراً تحت سطح البحر . أحسب  
 أولاً - المسافة بين أ ، ح ثانياً - معدل إنحدار أ ح كل ١٠٠ متر من المسافة  
 الأفقية منه . هذا مع العلم بأن الزاوية ح ب أ = ١١' ٥١٥٤ .

١٠ - البعد البؤرى لعدسة الشيئية فى منظار هو ١٢ بوصة والمحور الرأسى  
 للدوران فى منتصف المسافة بين الشيئية والبؤرة . وضعت القامة على بعد  
 ٣٠,١,٥ قدماً من المحور الرأسى للجهاز وكان الجزء المقطوع بين شعرتى  
 الاستاديا على القامة = ٣,٠٠ قدم . ما هى المسافة بين شعرتى الاستاديا فى  
 الجهاز ؟

١١ - لايجاد منسوب النقطة أ من النقطة ب المعلوم منسوبها وضع  
 التيودوليت فوق نقطة جديدة ح وأخذت القراءات الآتية على القامتين  
 الموضوعتين رأسياً فوق أ ، ب فكانت :

القامة	الزاوية الرأسية	قراءات الشعرات ( م )
أ	- ٣٠ ٣٥ ٥٧	٠,٩٥٠ ، ١,٥٠٢ ، ٢,٠٥٥
ب	+ ٣٠ ٥٠ ١٠	٠,٥٨٢ ، ٢,٠٠٠ ، ١,٠١٨

فإذا علم أن الجهاز به عدسة تحليلية والثابت التاكيومتري = ١٠٠ وأن  
 منسوب ب = ٤٢,٠٣ متراً . أحسب منسوب نقطة أ .

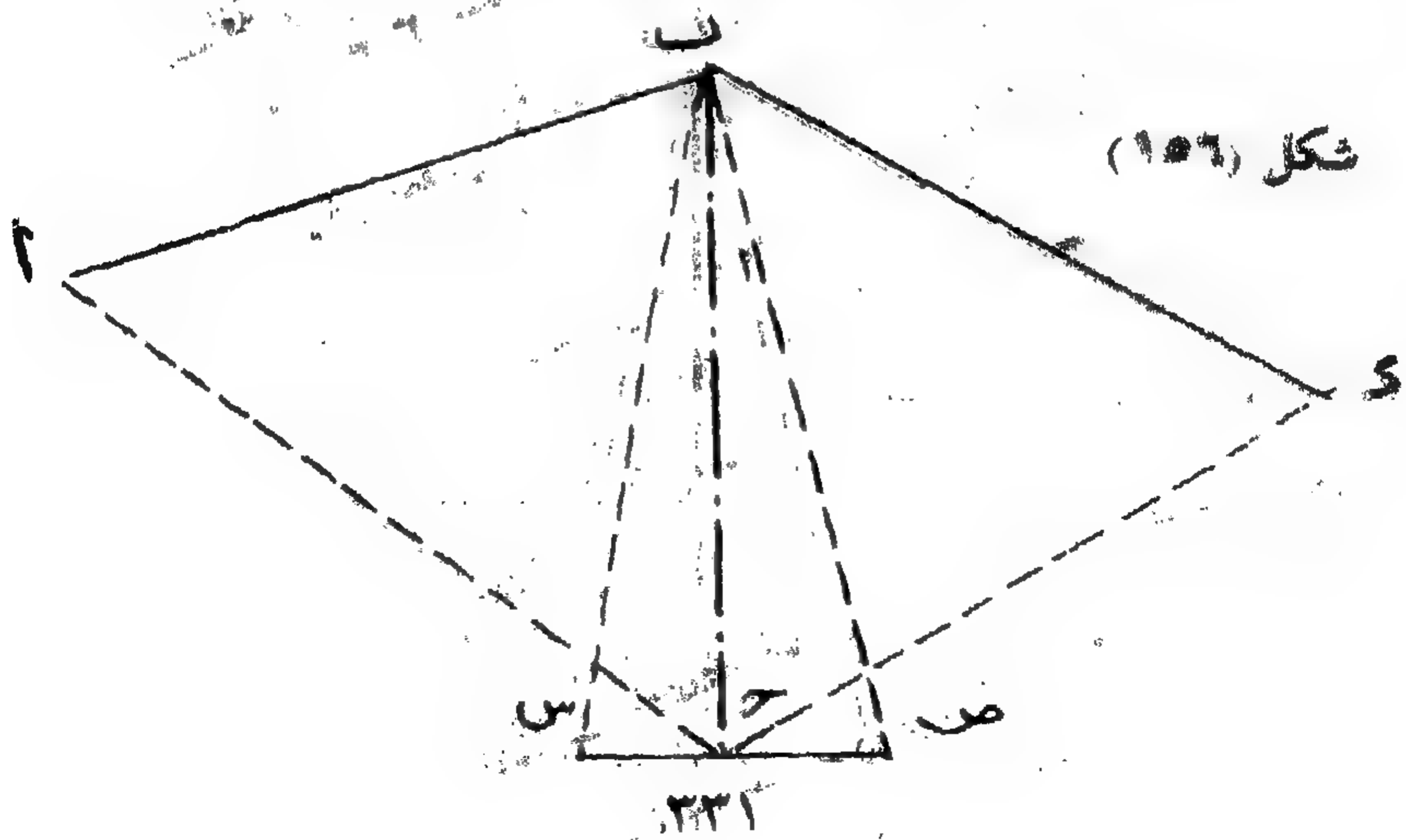


١٢ - في توافرس أريد إيجاد المسافة بين النقطتين أ ، ب ، أ كانت ظاهرة من س إحدى نقط التوافرس ، أمام فكانت ظاهرة من نقطة أخرى ص . أخذت أرصاد تاكيومترية من س ، ص على قائمتين موضوعتين فوق أ ، ب وكانت الأرصاد كما يلي :

نقطة التوافرس	الاحداثيات ص س	نقطة القامة	الانحراف	الزاوية الرأسية	قراءات الشعرات (م)
س	١٠٠ ش ٣٨٠٠ ق	أ	٥٣٢٦ ٤٢	٥٠٩ ٣٢	١٠٥٠ ، ٢٠٧٢ ، ٢٠١١
ص	٧٥٠ ش ٣٦٠٠ ق	ب	٥١٠ ٣٧	٥١٢ ١٨	١٠٨٠ ، ٢٠٧٠ ، ٢٠٣٥

الجهاز مرود بعدسة تحليلية والثابت التاكيومتري ١٠٠٠ . أحسب المسافة أ ب ، وانحراف أ ب .

١٣ - قيس الضلع أ ب شكل ( ١٥٦ ) بالطريقة التالية . الزوايا  $\alpha$  ،  $\theta$  ،  $\beta$  كما في الشكل وقست المسافتان أ ح ، أ خ ، ب قضيض أنفار موضوع عند ح ، ح ، وبتيودوليت أ . بدأ حصلنا على طولين للضلع أ ب وأخذنا المتوسط الزاوية عند أ المحصورة بالقضيض عند ح =  $٥١^\circ ٥٠' ٢٧''$





الزاوية عند  $\alpha$  المحصورة بالقضيب عند  $\gamma = 30^\circ 01'$  ،  
 $\theta = 33^\circ 35' 10'' = \alpha$  ،  $\gamma = 27^\circ 51' 02'' = \alpha$  ،  $\alpha = 55^\circ 53' 02''$  احسب  
 المسافة الأفقية  $AB$  .

١٤ — أخذت قراءات من جهازى تاكيومتر عند نقطة  $A$  التى منسوبها  $15,05$  متر إلى قمة موضوعة فوق  $B$  .

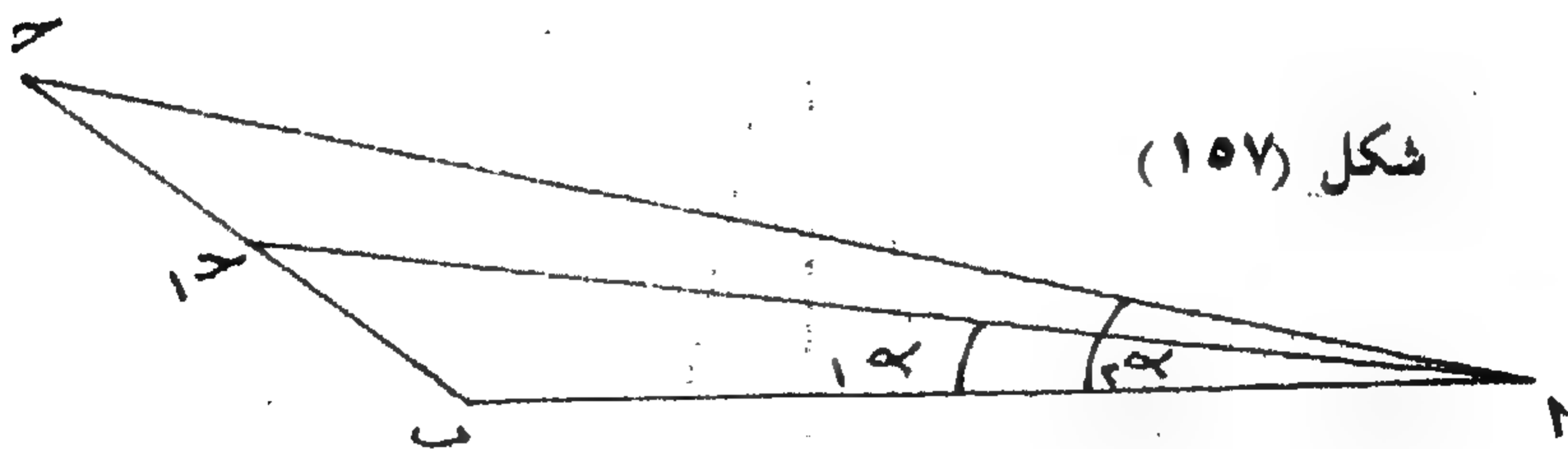
الجهاز الأول ( $\alpha$ ) : ثابتة التاكيومتري  $100$  وثابتة الأضافي  $14,4$  بوصة  
 الجهاز الثانى ( $\phi$ ) : ثابتة التاكيومتري  $95$  وثابتة الأضافي  $15,0$  بوصة

وكان ارتفاع الجهاز ( $\alpha$ ) عند  $A = 1,45$  متر وزاوية الارتفاع  $53^\circ$   
 والقراءات  $1,37$  ،  $2,31$  ،  $3,27$  متر . فإذا كان ارتفاع الجهاز ( $\phi$ ) عند  
 $A = 1,58$  متر وزاوية الارتفاع  $53^\circ$  فما هى القراءات الواجبة على القمة  
 بالجهاز  $\phi$  .

١٥ — شكل (١٥٧) يبين ضلعى ترافرس  $AB$  ،  $B$  مع قاعدة  
 مساعدة  $C$  ، أحسب أطوال أضلاع الترافرس من الأرصاد التالية :

$$\begin{aligned} > BAC = 30'' 10' 55'' \\ > CAB = 10'' 56' 58'' \\ > CBA = 40'' 18' 53'' \end{aligned}$$

وكان قضيب أنفار المستعمل  $= 2$  متر .





١٦ — أريد قياس خط  $AB$  باستعمال قضيب الأنفار فأقيمت قاعدة مساعدة  $AH$  عند  $A$  وعلى جانب واحد من  $AB$  فإذا كانت زاوية البرالاكس عند  $A$  هي  $34^\circ$  و  $4^\circ$  والزاوية  $HAB$   $39^\circ$  و  $86^\circ$  والزاوية  $ABH$   $12^\circ$  و  $4^\circ$  فعين طول الخط  $AB$  وهل طول القاعدة المساعدة مناسب أم لا .  
بين أيضاً إذا كانت هذه الطريقة مناسبة لقياس هذا الخط أم لا . وإذا لم تكن كذلك فما هي الطريقة المناسبة .

١٧ — وضع تاكيومتر على جانب جبل ورصد طرفا طريق  $AB$  فكانت زاوية الارتفاع عندما رصدت  $A$  هي  $20^\circ$  و  $25^\circ$  وقراءات الشعرات  $2,25$  ،  $3,09$  ،  $3,93$  متر والجهاز مزود بعدسة تحليلية ثم رصدت قمة عند بزاوية انخفاض  $48^\circ$  فكانت القراءة  $3,80$  متر ولما خفض المنظار حتى أصبحت الزاوية  $60^\circ$  رصدت أسفل نقطة في القمة . فإذا كان انحراف الخط من التاكيومتر إلى  $A = 327^\circ$  وإلى  $B = 117^\circ$  فما مقدار انحدار الطريق  $AB$  . إذا كان البعد البؤري للشيئية  $= 25$  سم والمسافة بين شعرتي الأستاديا  $= 25$  م .

١٨ — قيس خط  $AB$  باستعمال قضيب الأنفار وخط قاعدة مساعد عمودي على جانب واحد من  $AB$  وفي منتصفه تماماً فإذا كان طول الخط  $AB$  هو  $684$  متر وطول القاعدة المساعدة هو  $28$  متر . فعين زاوية البرالاكس وكل من الزاويتين الموجودتين عند طرفي الخط .

وإذا كان خط القاعدة المساعد ينصف  $AB$  وعلى جانبيه فما هي زاوية البرالاكس وكل من الزاويتين المرصودتين عند طرف الخط في هذه الحالة .

١٩ — قيس خط  $AB$  بوضع قضيب الأنفار عمودياً عليه وفي منتصفه تقريباً فإذا كانت الزاويتين المرصودتين عند كل من  $A$  ،  $B$  هي  $27^\circ$  ،  $51^\circ$  ،  $35^\circ$  على الترتيب فما هو طول الخط .



٢٠ — تاكيومتر شعراته ثابتة والبعد البؤري لعدسة الشيئية = ٢٥ سم  
وبعدها عن المحور الرأسى للجهاز = ١٢ سم رصد به على قامة موضوعة رأسياً  
فكانت القراءات ٢,٢٨ — ١,٨٦ — ١,٢٨ عندما كان خط النظر يميل  
١٦' ٥٨ إلى أعلى ثم وضعت القامة أفقياً فى مكان الراصد نفسه بحيث كان  
نوط النظر عند تخفيضه لمستواها متعامداً عليها ومنصفاً لها وقيست الزاوية  
الأفقية بين موقع الجهاز وطرفى القامة فكانت ١٦' ٥٢ — عين الثابت  
التاكيومترى للجهاز .

٢١ — أوجد المسافة الأفقية بطريقة القاعدة الرأسية إذا كانت الزاويتان  
الرأسيتان المرصودتان هما ١٦' ٥٦ ، ١٤' ٥١ .

٢٢ — رصدت قامة موضوعة فوق روبر على سطح البحر فكانت قراءات  
الشعرات هى على التوالى ( ١,٠٠ ، ١,٨٨ ، ٢,٧٦ ) وزاوية الارتفاع  
١٤' ٥٦ ونقلت القامة إلى نقطة أخرى ل فكانت القراءات ٠,٥٠ ،  
٢,٠٠ ، ٣,٥٠ وزاوية الانخفاض ٥٢' ٥٣ عين منسوب ل والمسافة الأفقية  
بينها وبين ل . اعتبر ث = ١٠٠ ، ك = ٣٠ سم .



## القسم الرابع المنحنيات







## مقدمة

« الخط المستقيم هو أقصر الطرق بين نقطتين ولكن المنحنى أجملها »

إن هذه العبارة لها من النواحي المعنوية والفنية الكثير ، ولكن المنحنى لا يلعب دوره في جمال المنظر فقط ، وإنما له ضروراته التي تستلزم وجوده في كثير من المشروعات والمنشآت والمباني والطرق والسكك الحديدية . ودراسة المنحنيات ضرورة لا يستغنى عنها المهندس حتى تستكمل مشروعاته النواحي الفنية والنواحي التجميلية التي يستلزمها المشروع أحياناً كما في حالة الطرق والمباني إذ كثيراً ما يضاف على الطريق رونقاً وجمالاً احتوائه على منحنيات تناسب في اتساق متلاحقة ببعضها أفقية أو رأسية . وما الأمر بأقل أهمية في المباني والمنشآت .







## الباب السابع عشر المنحنيات الدائرية البسيطة ( Simple Circular Curves )

تعتبر دراسة المنحنيات ذات أهمية في كثير من المشروعات وخصوصاً مشروعات الطرق والسكك الحديدية وأعمال الري . وتستعمل المنحنيات عموماً في الأعمال الهندسية للتغيير من اتجاه خط مستقيم إلى اتجاه آخر سواء أكان ذلك في المستوى الأفقى ( منحنيات أفقية ) أو في المستوى الرأسى ( منحنيات رأسية ) . وفي المستوى الأفقى يوصل المنحنى الأفقى هذين الاتجاهين لتفادى التغير المفاجئ في الانحراف ويكون هذا المنحنى مماساً لهما .

وأبسط أنواع المنحنيات هو القوس الدائرى ويتوقف نصف قطره على عدة عوامل أهمها نوع وأهمية المشروع وطبوغرافية المنطقة وظروف الإنشاء .

والأسس العامة للتخطيط لهذه المنحنيات عموماً واحدة في جميع المشروعات وإن كانت تختلف تبعاً لنوع ودقة العمل المطلوب .

ففي مشاريع السكك الحديدية والطرق الرئيسية تكون أنصاف أقطار المنحنيات الدائرية كبيرة ويحتاج الأمر إلى دقة عالية جداً في تخطيط هذه المنحنيات أما في مشاريع الري أو الطرق الثانوية فتكون أنصاف أقطار المنحنيات صغيرة ولا تحتاج إلى دقة كبيرة في توقيعها .

وتحتوى دراسة المنحنيات جزأين أساسيين هما بالتحديد :

الجزء الأول : ويشمل دراسة أجزاء المنحنى وعناصره والعلاقات الرياضية التى تربط هذه الأجزاء .

الجزء الثانى : ويشمل طرق إدخال وتخطيط وتوقيع المنحنيات في الطبيعة .



## أنواع المنحنيات الدائرية

يمكن تقسيم المنحنيات الدائرية إلى ثلاثة أنواع :

### ١ — منحنى دائرى بسيط : ( Simple Circular Curve )

وهو عبارة عن قوس من دائرة نصف قطرها ثابت ، ويصل بين إتجاهين مستقيمين ويكون مماساً لهما شكل ( ١٥٨ ) . وهذا النوع يعد أبسط أنواع المنحنيات وأسهلها في التوقيع والتخطيط ، وهى موضوع هذا الباب .

### ٢ — منحنى دائرى مركب : ( Compound Curve )

وهو يصل بين إتجاهين معلومين ويتركب من قوسين دائريين أو أكثر أنصاف أقطارها مختلفة . هذه الأقواس متماسة عند نقط إتصالها ببعض وانحناؤها فى إتجاه واحد ، أى أن مراكز التقوس فى ناحية واحدة من المماس أو المماسات المشتركة شكل ( ١٥٩ ) .

### ٣ — منحنى دائرى عكسى : ( Reverse or Serpentine )

وهو مثل المنحنى المركب ولكن إتجاه التقوس فى أحد القوسين يكون مخالفاً لإتجاه التقوس فى الذى يليه ، أى أن مركزى كل منحنين متتالين ليسا فى جهة واحدة من المماس المشترك ، شكل ( ١٦٠ ) وأنصاف الأقطار قد تكون متساوية أو مختلفة . كما أن الاتجاهات المستقيمة قد تكون متوازية ..

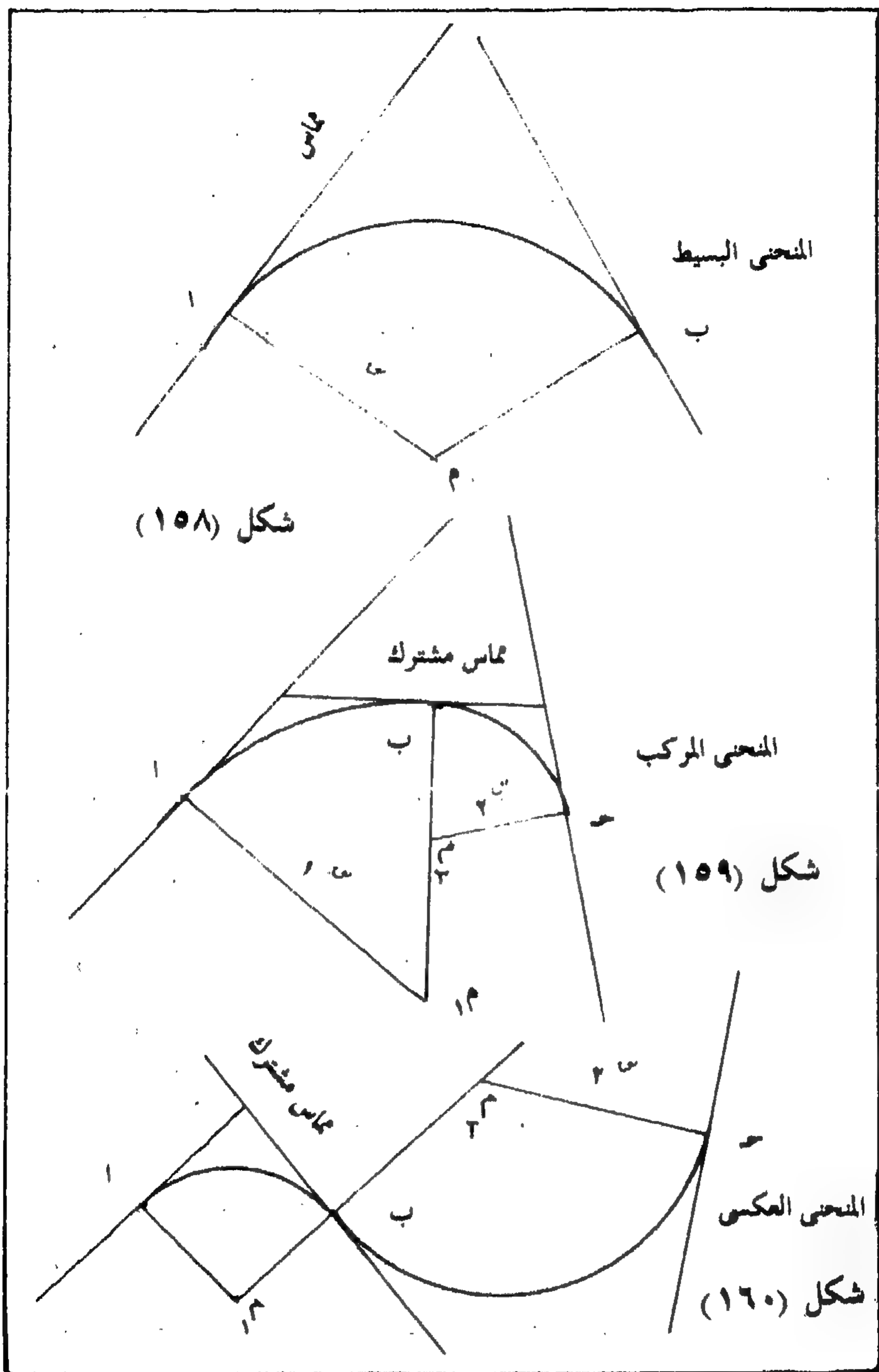
## تعريف المنحنى

توجد طريقتان لتقدير أو لتعريف المنحنى فقد يعرف المنحنى بنصف قطره أو بدرجة انحنائه .

### ١ — طريقة نصف القطر :

وهى الطريقة المستعملة فى مصر ، ويقدر طول نصف القطر بالتر ، أما فى أمريكا وإنجلترا فيقدر بالقدم وحالياً بالتر حيث أدخل أيضاً النظام المترى .







## ٢ — طريقة درجة المنحنى . ( Degree of Curve )

درجة المنحنى هي الزاوية المركزية المقابلة لوتر معلوم يطلق عليه ( وتر القياس ) ، ويؤخذ طول هذا الوتر في مصر ٢٠ متراً أى جنزيراً واحداً ، أما في الدول التى تستعمل النظام الإنجليزى فيؤخذ ١٠٠ قدم . فمثلاً منحنى درجته ٤ عبارة عن قوس دائرى فيه الوتر الذى طوله ٢٠ متراً ( أو ١٠٠ قدم ) يقابل زاوية مركزية قدرها ٥٤° .

**العلاقة بين نصف القطر ودرجة المنحنى :**

في شكل ( ١٦١ ) نفرض أن المنحنى هو ا ب ونصف قطره ( س ) ويمس المستقيمين ا ح ، ح ب عندا ، ب على الترتيب فإذا أخذنا على القوس وترأ معلوماً ( ل ) فتكون الزاوية هي ( س ) أى درجة المنحنى . ومن الشكل لدينا

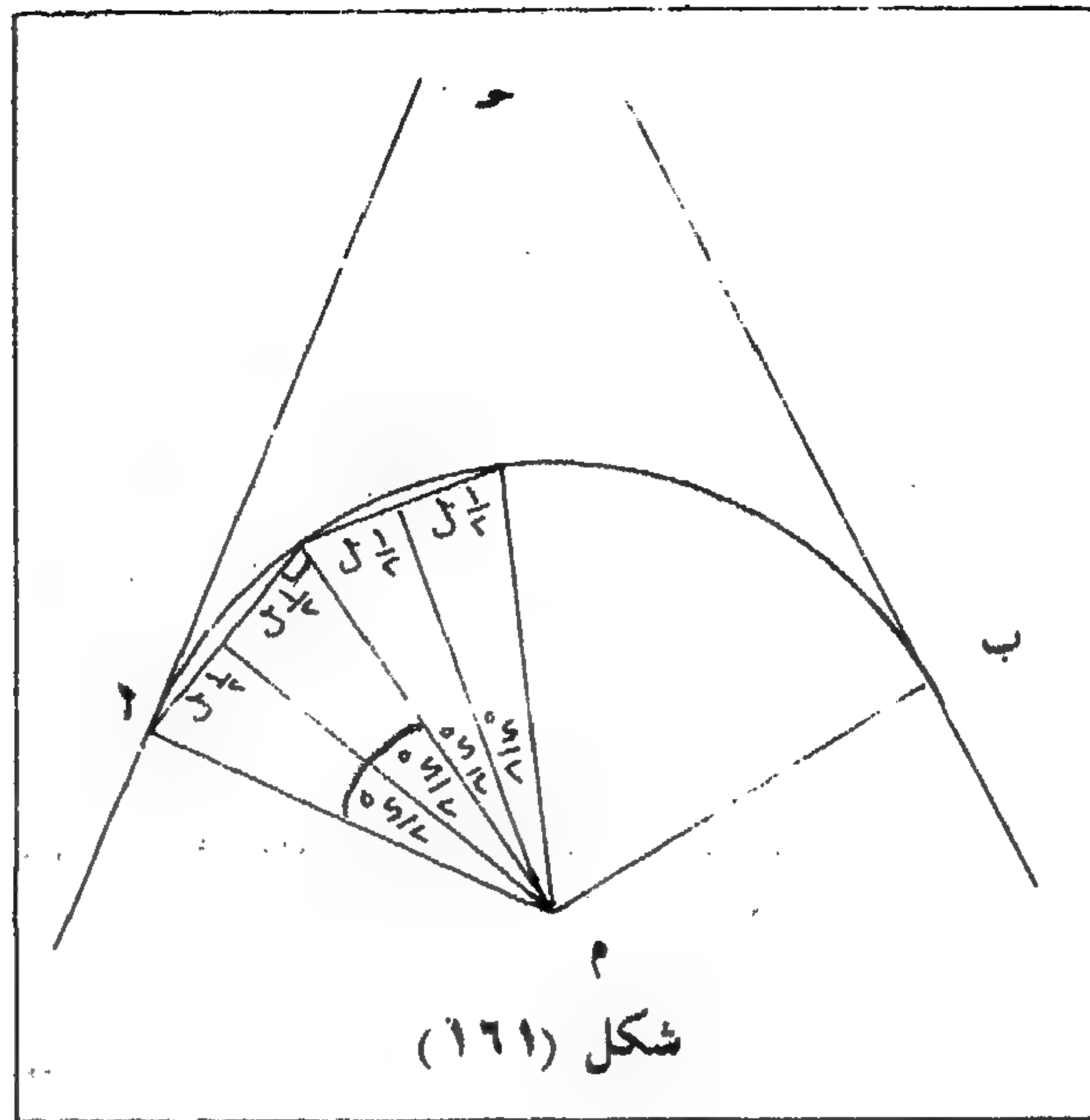
$$\text{جا } \frac{٥٤}{٢} = \frac{ل}{س٢} \quad \text{..... (٩٨)}$$

وإذا كان الوتر = ٢٠ متراً

$$\text{جا } \frac{٤}{٢} = \frac{١٠}{س} \quad \text{..... (٩٩)}$$

وهذه المعادلة تمثل العلاقة الحقيقية بين درجة المنحنى ونصف قطره ، وتستعمل في الحسابات الدقيقة أو عندما تكون درجة المنحنى كبيرة . أما إذا كان نصف القطر كبيراً ، أى أن درجة المنحنى صغيرة ، فيمكن إعتبار الوتر مساوياً لطول القوس المقابل له ، وبذا يمكن استنتاج العلاقة التقريبية الآتية تسهيلاً للحساب وإختصاراً للعمل كالتالى :





$$\frac{ل ٥٧,٣}{٤} = \frac{ر}{٢} \times \frac{٣٦٠}{٤} = ر$$

فإذا كانت ل = ٢٠ متراً فإن :

..... (١٠٠)

$$\frac{١١٤٦}{٥} = ( \text{متر} ) ر$$

وإذا كانت ل = ١٠٠ قدم فإن :

..... (١٠١)

$$\frac{٥٧٣٠}{٥} = ( \text{قدم} ) ر$$



ونصف القطر المحسوب من المعادلات التقريبية أقل من المحسوب بالمعادلة المضبوطة ( ٩٩ ) .

والفرق بين كل من العلاقة الحقيقية والعلاقة التقريبية هو في الواقع مقارنة قيمة الوتر بقيمة القوس أو مقارنة جيب الزاوية بقيمتها بالتقدير الدائري .

مثال ١ - أوجد نصف قطر المنحنى الذى درجته = ٥٦ بالطريقتين التقريبية والمضبوطة ( الوتر = ٢٠ متراً ) .

الحل :

$$\text{ب ( بالطريقة المضبوطة )} = \frac{10}{0.0234} = \frac{10}{0.0234} = 191.06 \text{ متر}$$

$$\text{ب ( بالطريقة التقريبية )} = \frac{1146}{6} = 191.00 \text{ متراً}$$

مثال ٢ - كم يكون مقدار ب لو كانت درجة المنحنى ٥٣٠ .

الحل :

$$\text{ب ( بالطريقة المضبوطة )} = \frac{10}{0.2588} = \frac{10}{0.2588} = 38.64 \text{ متر}$$

$$\text{ب ( بالطريقة التقريبية )} = \frac{1146}{30} = 38.20 \text{ متر}$$

وبهذا يتضح أن الفرق بين الطريقتين المضبوطة والتقريبية يزداد كلما زادت درجة المنحنى وبالتالي كلما صغر نصف قطر المنحنى ، فالفرق في المثال الأول ٦ سم وفي الثاني ٤٤ سم . ويمكن كذلك إستنتاج نسبة الخطأ عند إعتبار أن القوس مساوياً لطول الوتر وهى نسبة صغيرة جداً لا تتعدى ٥ × ١٠ - ٥ لمنحنى درجته ٥٨ .



## أجزاء وعناصر المنحنى البسيط

نفرض في شكل ( ١٦٢ ) بحالتيه أن  $A$  و  $B$  منحنى دائرى بسيط يمس المستقيمين  $EA$  ،  $KB$  ونقطتا التماس هما  $A$  ،  $B$  أى بداية ونهاية القوس الدائرى .  $H$  نقطة تقاطع المماسين .

والكميات التى نتعامل معها يمكن حصرها كالتالى :

$\theta$ =	زاوية تقاطع المماسين
$r$ =	نصف قطر المنحنى
$s$ =	طول المنحنى
$L$ =	الوتر الكلى ( Long chord )
$h$ =	طول المماس الجزئى
$M$ =	قمة المنحنى
$N$ =	النقطة المتوسطة فى المنحنى
$P$ =	بين نقطتى التماس
$Q$ =	السهم الداخلى ( Versed Sine )
$R$ =	السهم الخارجى أو المسافة
$S$ =	الخارجية ( External Dist. )
$T$ =	الزاوية المركزية للمنحنى
$U$ =	نقطة التماس الأولى
$V$ =	نقطة التماس الثانية

ويقال أن المنحنى متيامن إذا كان تدريج المنحنى مبتدئاً من نقطة التماس اليسرى ومتجهاً نحو اليمين ، ومتياسر إذا كان مبتدئاً من نقطة التماس اليمنى ومتجهاً إلى اليسار .







## حساب أجزاء وعناصر المنحنى

لحساب أجزاء وعناصر المنحنى الدائرى البسيط يلزم الأمر معرفة مقدارين أساسيين وهما نصف قطر المنحنى ( م ) أو درجة المنحنى ( د ) وكذلك زاوية تقاطع المماسين ( هـ ) ويتوقف مقدار نصف قطر المنحنى وبالتالي درجته على عدة عوامل كثيرة منها سرعة الحركة على الطريق أو السكة ونوع المرور ونوعية المشروع وعوامل أخرى — أما بالنسبة للزاوية بين المماسين فهذه تحدد من واقع التخطيط .

وبمعرفة المقدارين م ، هـ يمكن تحديد أجزاء المنحنى كالتالى :

أولاً — طول المماس الجزئى ( ف ) :

فى المثلث ا م ح :

$$\text{ظا } \frac{1}{2} \text{ هـ} = \frac{1}{1} \frac{\text{ح}}{\text{م}} = \frac{\text{ف}}{\text{م}} \text{ ومنها :}$$

..... ( ١٠٢ )

$$\text{ف} = \text{م} \text{ ظا } \frac{1}{2} \text{ هـ}$$

ثانياً — طول الوتر الكلى ( و ) :

فى المثلث ا هـ م :

$$\frac{1}{2} \text{ و} = \text{م} \text{ جا } \frac{1}{2} \text{ هـ}$$

..... ( ١٠٣ )

$$\text{و} = 2 \text{ م جا } \frac{1}{2} \text{ هـ}$$



ثالثاً - طول المنحنى ( ق ) :

$$ق = \frac{هـ}{١٨٠} . ط = ٠,٠١٧٤٥٢٣ هـ = ٠ هـ$$

(١٠٤) .....

$$ق = ٠,٠١٧٤٥ هـ = ٠ هـ$$

حيث هـ بالدرجات .

أما إذا كان المنحنى مقداراً بدرجته وطول الوتر = ل . ونصف القطر كبير بحيث يمكن إعتبار طول الوتر = طول القوس .

(١٠٥) .....

$$ق = \frac{هـ}{٥٠} . ل$$

رابعاً - طول السهم الداخلى :

$$طول السهم = س م - م هـ = س - س جتا \frac{١}{٢} هـ$$

$$= س ( ١ - جتا \frac{١}{٢} هـ )$$

(١٠٦) .....

$$طول السهم الداخلى = س ( ١ - جتا \frac{١}{٢} هـ )$$



(١٠٧) ....

$$\text{طول السهم الداخلى} = \sqrt{\frac{و}{٤} - \frac{١}{٢} م} - \frac{١}{٢} م$$

خامساً - طول السهم الخارجى (المسافة الخارجية) :

$$\text{من المثلث } ا م ح : \frac{١}{٢} هـ = \frac{م}{س}$$

ولكن ح س = م ح - س = السهم الخارجى ( ط ) .

(١٠٨) .....

$$\text{السهم الخارجى} = ط = \sqrt{\frac{و}{٤} - \frac{١}{٢} هـ} - \frac{١}{٢} هـ$$

سادساً - الفرق بين طول القوس والوتر المقابل له :

طول المنحنى - طول الوتر = و - و

$$\frac{و}{٢ م ٢٤} = \frac{و}{٢ م ٢٤} =$$

(١٠٩) .....

ويقل هذا الفرق عملياً كلما صغر الوتر وكبر نصف القطر أى كلما صغرت درجة المنحنى .

وجداول ( ٢٣ ) يوضح الحد الأقصى لدرجة المنحنى والحد الأدنى لنصف القطر عند اعتبار طول الوتر مساوياً لطول القوس .



جدول ( ٢٣ )

الحد الأقصى لدرجة المنحنى	( بالمتر ) الحد الأدنى لنصف القطر	( بالمتر ) طول الوتر
٥٤	٢٨٦,٥	٢٠
٦	١٩١,٠	١٥
٨	١٦٢,٢	١٢
١٠	١٤٤,٦	١٠
١٥	٧٦,٤	٨
٢١	٥٤,٦	٦
٢٤	٤٧,٧	٥
٣٠	٣٨,٢	٤
أكثر من ٥٣٠	٣٠,٠	٢

### تعيين نصف قطر المنحنى في الطبيعة

نحتاج في بعض الأحيان إلى إيجاد نصف قطر منحنى في الطبيعة كمنحنى خط سكة حديد لا يمكن الوصول إلى مركز المنحنى ، أو يكون على مسافة كبيرة بحيث لا يكون من المناسب عملياً أن نقيس نصف القطر قياساً مباشراً .

في شكل ( ١٦٣ ) نقيس طول الوتر بين أى نقطتين على المنحنى في الطبيعة ، وليكن ب ب<sub>١</sub> . نقيس طول العمود س ط ( سهم المنحنى ) من منتصف الوتر ولدينا :

$$( ب ط . ط ب _ ١ = س ط . ط س _ ١ )$$

$$\therefore \frac{١}{٤} و ٢ = ع ( ٢ س - ع ) = ٢ ع س - ع ٢$$



ومنها يمكن إيجاد  $\mu$

وعادة تكون  $\epsilon$  صغيرة جداً بالنسبة إلى  $\mu$  ويمكن إهمال  $\epsilon^2$  ويصبح لدينا :

$$\mu = \frac{\epsilon^2}{8\epsilon} \quad \dots\dots (110)$$

**تدرج المنحنى :**

يدرج المنحنى كل جنزير ويكون التدرج امتداد لامتداد المماس الأول ويستمر التدرج بعد انتهاء المنحنى على المماس الثانى كما هو مبين فى شكل ( ١٦٤ )

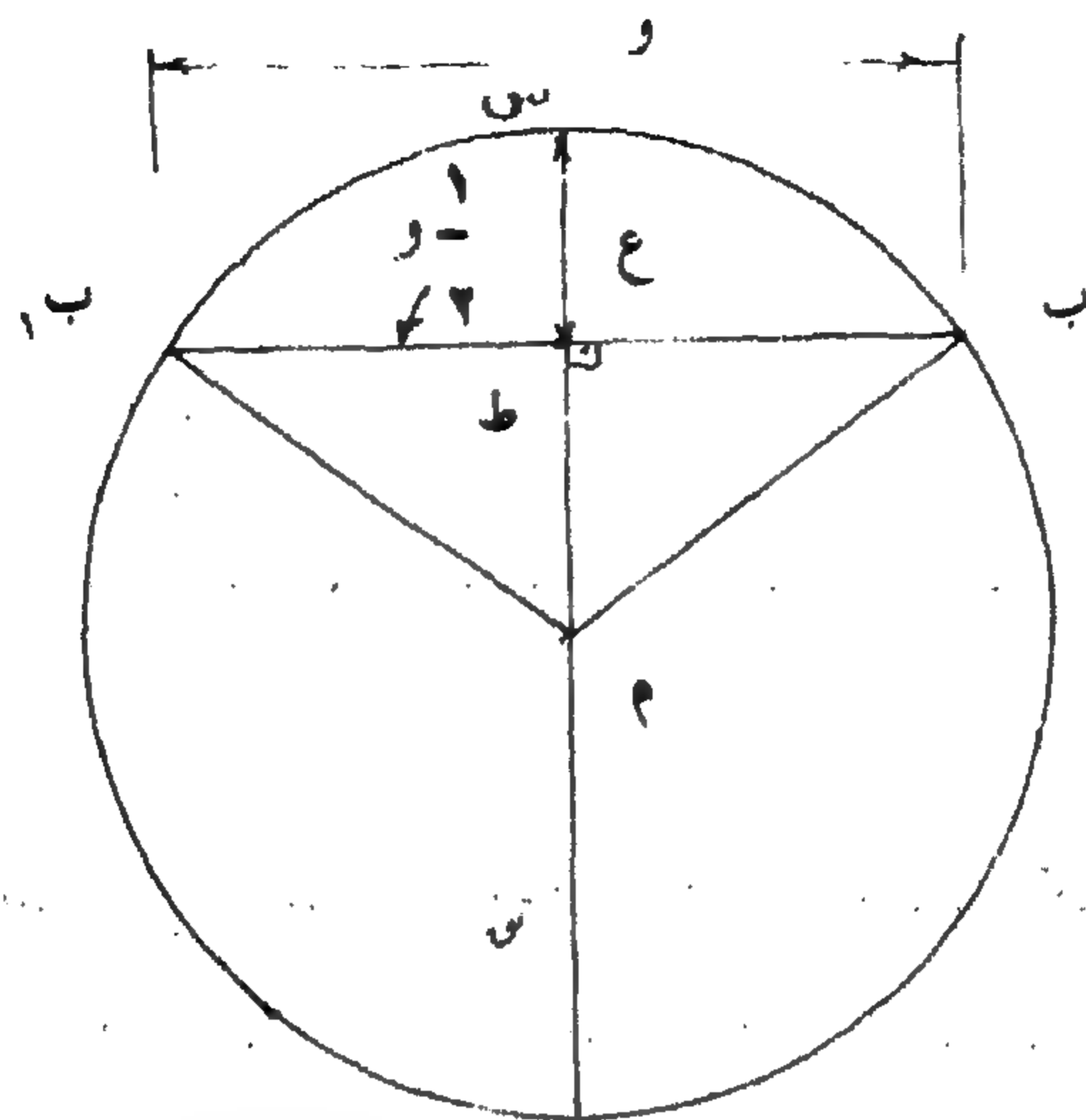
### **تخطيط المنحنى البسيط**

يبدأ تخطيط المشروع ( بما فيها الخطوط والمنحنيات ) على الخرائط الكتتورية للمنطقة حيث توضع الحلول الممكنة والمناسبة والتي تفى بالأشتراطات الخاصة بالميل وأنصاف الأقطار ومناطق الحفر والردم ونزع الملكية — وبعد إختيار أنسب الأوضاع للأجزاء المستقيمة من الطريق توضع المنحنيات بين الاتجاهات المختلفة للطريق على الخريطة ومنها توقع النقط المحددة لمحور الطريق من واقع القياسات من الخريطة . ومن واقع التخطيط كما ذكرنا تحدد زاوية انحراف كل منحنى .

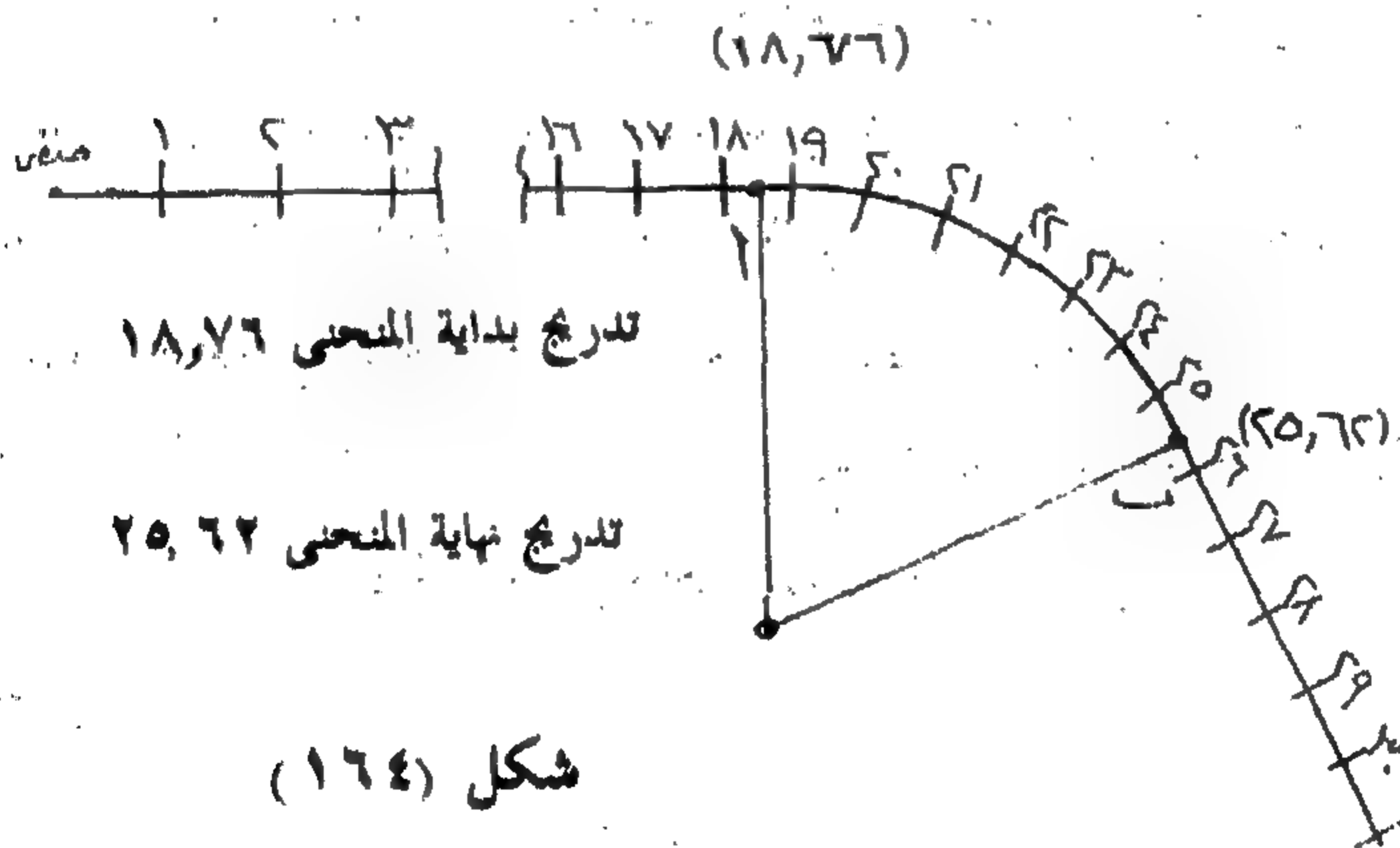
وتوجد عدة طرق مختلفة لتوقيع المنحنيات الدائرية البسيطة ، وعلى المهندس أن يختار الطريقة التي تناسب كل حالة حسب الظروف المحيطة بها والدقة المطلوبة .

وإذا كان محور المشروع مكوناً من خطوط مستقيمة ومنحنيات تصل بينها ، فإن المستقيمات توقع أولاً ثم تخطط بعدها المنحنيات .





شكل (١٦٣)



شكل (١٦٤)



## أولاً - تخطيط الخطوط المستقيمة

للخطوط المستقيمة حالتان :

١ - أن تكون الخطوط موجودة فعلاً في الطبيعة :

٢ - أن تكون الخطوط موجودة على الخريطة حسب التصميم المقترح ومعلوم مواقعها بالنسبة لبعض الأشياء الثابتة الموجودة في الخريطة كالمنشآت والمباني والموجودات أيضاً في الطبيعة أو بالنسبة لخطوط ترافرسات موجودة في الخريطة والطبيعة أيضاً . لتوقيع المحاور المستقيمة على الطبيعة نأخذ مقاسات طولية من الخريطة تربط بين نقط الترافرس أو نواصي المباني أو أية معالم ثابتة وبين نقط على محور الطريق المستقيم بحيث ييسر توقيع أكبر عدد ممكن من النقط على هذا المحور ، ومن المفروض أن تكون هذه النقط جميعها على خط واحد ولكننا لا نجد لها غالباً كذلك ، فيكون من الواجب حينئذ تعديل مواقع هذه النقط في أضيق الحدود حتى نحصل على الخط المستقيم الذي يتوسطها .

وتدق أوتاداً في هذه النقط ، وغالباً تكون على أبعاد ٢٠ متراً حسب أهمية العمل ، وبذا نحصل على إتجاهات الخطوط المستقيمة والمماسات التي سوف نصلها بمنحني تدق على إتجاهه أوتاداً على مسافات متساوية . ويبدأ ترقيم علامات الأوتاد من أول الطريق المستقيم ، ثم يستمر تسلسل الترقيم حتى نصل إلى أول المنحني ويستمر عليه ثم تنتقل بعد ذلك إلى الطريق المستقيم وهكذا شكل ( ١٦٤ ) .

## ثانياً - تخطيط المنحني

تخطيط المنحني معناه تعيين مواضع عدة نقط تقع على المنحني على أبعاد من بعضها بمقدار يتناسب مع طول المنحني بحيث أننا لو وصلنا بينها خطوط مستقيمة ( أوتار المنحني ) فإننا نحصل على محور المنحني في الطبيعة . والمسافة بين النقط تكون عادة ٢٠ متراً ، أما إذا كان نصف قطر المنحني صغيراً فإنها تقل إلى ١٠ أمتار ، وقد تصل إلى خمسة أمتار أو أقل .



وخطوات تخطيط المنحنى مهما اختلفت طريقة التخطيط عموماً هي :  
أولاً — تحديد وقياس زاوية انحراف المنحنى ( تحديد إتجاهى المماسين  
وتعيين نقطة التقاطع ) .

ثانياً — تحديد نقطتى ابتداء وانتهاء المنحنى .

ثالثاً — اختيار الطريقة المناسبة لتحديد النقط المختلفة على المنحنى :

أولاً — تحديد وقياس زاوية المنحنى وتعيين التقاطع :

بعد تحديد إتجاهى المماسين كما سبق ذكره نلجأ باستعمال الشواخص أو  
التيودوليت حتى نحصل على نقطة تقاطعهما ح شكل ( ١٦٥ ) كما يلي :

١ — نضع التيودوليت مسامتا أحد الأوتاد ونوجه المنظار نحو احدى  
العلامات المثبتة على خط المحور ثم نقلب المنظار حول محوره الأفقى ونعين  
امتداد الطريق الأول عند نقطة التقابل بالتقريب فنعين ح ١ قبل نقطة التقاطع  
والنقطة ح ٢ بعدها باستعمال التيودوليت ، وبذا يصبح ح ١ ح ٢ جزءاً من  
الطريق الأول .

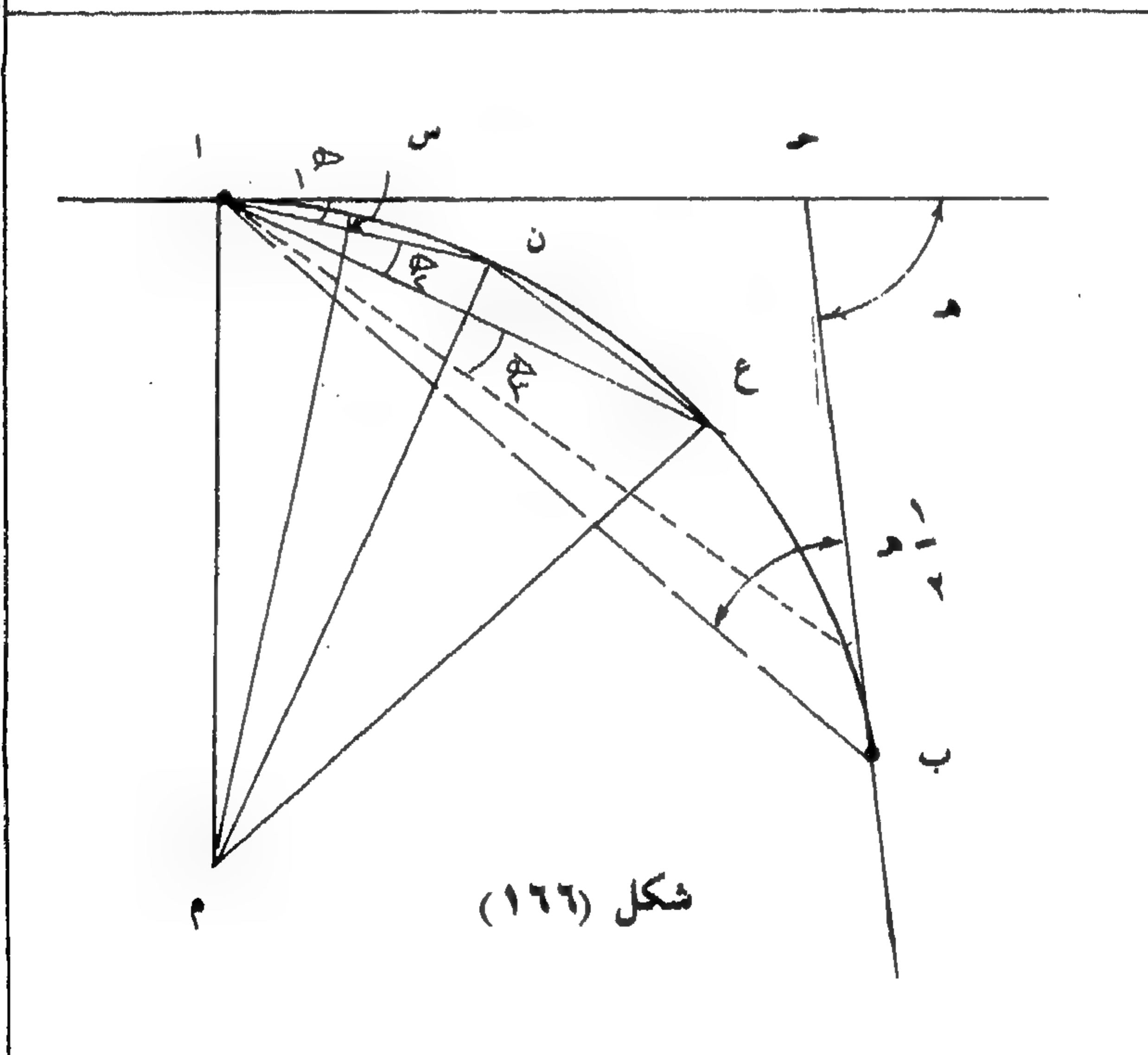
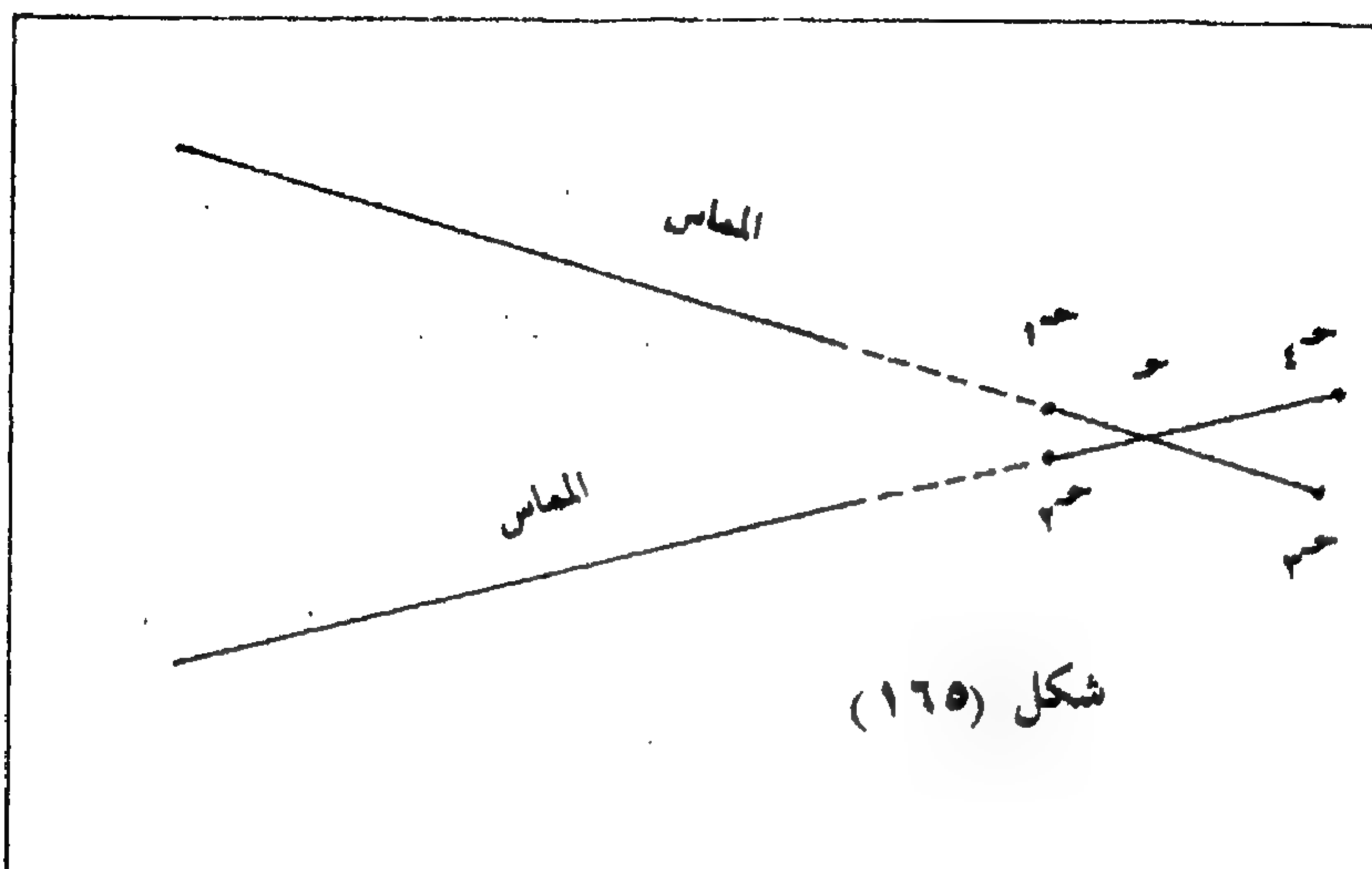
٢ — ننتقل بالتيودوليت إلى إحدى النقط المثبتة على محور الطريق الثانى  
ونكرر نفس العمل السابق فنحصل على النقطتين ح ٣ ، ح ٤ قبل نقطة التقابل  
وبعدها فيكون الخط ح ٣ ح ٤ جزءاً من محور الطريق الثانى ، وتكون نقطة  
تقاطع الخطين ح ١ ح ٢ ، ح ٣ ح ٤ هي ح المطلوبة التى يمكن تعيينها بشد  
خيوط بين الشوكتين ح ١ ، ح ٢ وشد خيوط آخر بين الشوكتين ح ٣ ، ح ٤ .  
نثبت وتدافى ح ، وندق مسماراً فى رأس الوتد مع التوجيه بالتيودوليت لتعيين  
ح بدقة .

٣ — نقل التيودوليت إلى ح وقياس زاوية التقاطع ( هـ ) شكل ( ١٦٦ ) .

ثانياً — تحديد نقطتى بداية ونهاية المنحنى :

نحسب ( ف ) طول كل من المماسين ونحدد هذا الطول على كل من







المماسين ابتداء من نقطة التقاطع فتتعين  $A$  ،  $B$  نقطتا التماس فنثبت فيها وتدين  
ونندق في رأس كل منهما مسماراً .

ويحسن أن يكون القياس الطولى فى هذه الحالة باستعمال الشريط مع  
التوجيه بالتيودوليت لدقة العمل .

وكتحقيق للعمل ننقل الجهاز إلى  $A$  ونقيس الزاوية  $BA$  فيجب أن تكون  
(  $\frac{1}{2}$  هـ ) .

### طرق تخطيط المنحنيات الدائرية :

نورد فيما يلى طرق تخطيط المنحنيات الدائرية البسيطة .

١ — التخطيط باستعمال التيودوليت والشريط ( القياسات الزاوية  
والطولية ) .

٢ — التخطيط باستعمال جهازى تيودوليت ( القياسات الزاوية فقط ) .

٣ — التخطيط باستعمال الشريطين ( القياسات الطولية فقط ) .

### ١ — التخطيط باستعمال التيودوليت والشريط :

هذه أنسب الطرق إذا كانت الدقة المطلوبة كبيرة ، كما فى حالة تخطيط  
منحنيات السكك الحديدية وهى تمتاز بسهولة وسرعتها ولا تحتاج إلى عمليات  
حسابية كثيرة ، ونستعمل فيها تيودوليتاً واحداً وشريطاً . والنتائج التى نحصل  
عليها جيدة جداً إذا كانت أطوال الأوتار كبيرة بالنسبة لنصف قطر المنحنى إلى  
حد يكون الفرق بين طول الوتر والقوس المقابل له كبيراً ولا يمكن إهماله وهذه  
الطريقة تسمى ( طريقة زوايا الانحراف ) .

### تخطيط المنحنى :

١ — يوجه التيودوليت توجيهاً أساسياً إلى  $C$  وهو متسامتاً فوق أول  
المنحنى  $A$  :



٢ — نربط مسمار الحركة السفلى في التيودوليت ، ونفك العلوى ثم نحرك المنظار حتى يعين الميكرومتر مقدار زاوية الانحراف الأولى ( هـ ) ( ط ) طريقة الحساب ستبين فيما بعد ) . ثم نربط مسامير الحركة الأفقية

٣ — نثبت أول الشريط عندا ويمسك شخص آخر طولا من الجنزير يساوى طول القوس المعلوم ( طول القوس يساوى طول الوتر ) وهذا القوس أو الوتر يساوى ٢٠ متراً غالباً . يتحرك الشخص ، مع شد الشريط ، حتى ترصد الشوكة التى بيده خلال المنظار ، ولتكن الشوكة فى وضع ( هـ ) مثلاً . هذه النقطة تقع على المنحنى وتكون أول نقطة وقعت بعد نقطة التماس

٤ — يسحب الشريط ويثبت طرفه الخلفى عند ( هـ ) . نفك مسمار ربط القرصين ونعين زاوية الانحراف الثانية ( هـ ٢ ) أى تكون زاوية الانحراف كلها من  $ا = (هـ ١ + هـ ٢)$  . نحرك طرف الشريط الأمامى ونعين نقطة ( ع ) بنفس الطريقة السابقة فتكون هى النقطة التالية على المنحنى بعد نقطة ( هـ ) نعين ( هـ ٢ ) وهكذا نستمر نقطة بعد أخرى حتى ينتهى توقيع نقط المنحنى كله . ويلاحظ أنه عند توقيع آخر نقطة ب للتحقيق يجب أن تكون زاوية الانحراف الكلية مساوية تماماً للمقدار  $(\frac{هـ}{٢})$  أى نصف زاوية التقاطع .

### حساب زوايا الانحراف :

يكون التدرج على المنحنى ، غالباً فى المشروعات استمرارا لتدرج المماس ، وتوقيع النقط كل جنزير ( ٢٠ متراً ) . وغالباً لا يكون أول المنحنى على نهاية مسافة ٢٠ متراً كاملة من آخر نقطة على المماس قبل المنحنى ، وبذا فإن أول نقطة على المنحنى قد لا تكون على بعد وتر كامل ( ٢٠ م ) من نقطة التماس الأولى لأن التدرج مستمر على المماس والمنحنى ، وإنما تكون على مسافة جزء من الوتر فى هذه الحالة ويطلق عليها ( الوتر الجزئى ) ( Subchord ) .



( الوتر الجزئى الأول ) هو طول الوتر من نقطة التماس الأولى <sup>١</sup> إلى النقطة الأولى على المنحنى . ويرمز له بالرمز <sup>١</sup> .

( الوتر الجزئى الأخير ) هو طول الوتر بين تدريج آخر نقطة ونقطة التماس الثانية . ويرمز له بالرمز <sup>٢</sup> .

وكما ذكرنا آنفاً يمكن اعتبار طول الوتر مساوياً طول القوس المقابل له إذا كان طول الوتر صغيراً بالنسبة لنصف القطر ، وهو ما يحدث غالباً ، وإلا فإنه يجب حساب طول الوتر الحقيقى المقابل للقوس حتى يمكن توقيع النقط على المنحنى ، فمثلاً لتعيين نقطة على بعد ٢٠ متر من النقط السابقة نحسب طول الوتر ( أقل من ٢٠ متراً ) لأننا أثناء العمل نوقع بطول الوتر ، وليس بطول القوس ، وألا فإننا نأخذ طول الوتر ٢٠ أو حتى ٥ أمتار حتى يمكن اعتبار طول القوس يساوى طول الوتر .

ولحساب زوايا الانحراف توجد طريقتان :

#### ١ — المعادلة المضبوطة :

فى شكل (١٦٦) : الزاوية <sup>١</sup> م س = <sup>١</sup> هـ

$$\frac{\frac{1}{2}}{\frac{2}{3}} = \text{جاه } ١$$

وهذه المعادلة يمكن أن تستعمل سواء أكان الوتر صغيراً أم كبيراً بالنسبة لنصف القطر .

#### ٢ — المعادلة التقريبية :

إذا اعتبر الوتر = طول القوس فإن :

$$\frac{\frac{1}{2}}{\frac{2}{3}} = \text{الزاوية } ١ \text{ م س ( بالتقدير الدائرى )}$$



$$\frac{57,3}{\text{م}} \times \frac{1}{2} = 5360 \times \frac{1}{2} = \text{الزاوية ١ م س ( بالدرجات )}$$

$$\frac{11718,9}{\text{م}} = \frac{57,3}{\text{م}} \times \frac{1}{2} \times 60 = \text{الزاوية ١ م س بالدقائق}$$

ولكن الزاوية ١ م س = الزاوية الأولى هـ ، وبذا فإن :

$$\frac{11718,9}{\text{م}} = \text{هـ} \quad \text{..... (١١١)}$$

حيث هـ ، بالدقائق .

وللحصول على نتائج جيدة يجب ألا نستعمل المعادلة السابقة إلا إذا أمكن اعتبار طول الوتر يساوى طول القوس ، أى يجب أن يكون نصف القطر كبيراً بالنسبة للوتر — وهذه المعادلة كافية من الناحية العملية ونستغنى فيها عن الجداول الرياضية .

وإذا كان طول الوتر الثانى = طول الوتر الأول .

فإن الزاوية المحيطة هـ ١ = ع =  $\frac{1}{2}$  الزاوية المركزية هـ م ع = هـ ٢ .

وإذا كانت الأوتاد جميعها متساوية فإن هـ ١ = هـ ٢ = هـ ٣ = ..... .

زاوية الانحراف الأولى هـ ١

زاوية الانحراف الثانية هـ ٢ = هـ ١ + هـ ٢ = هـ ٢

زاوية الانحراف الثالثة هـ ٣ = هـ ١ + هـ ٢ + هـ ٣ = هـ ٣

... .. وهكذا حتى نصل إلى نقطة التماس الثانية =  $\frac{1}{2}$  هـ ٥



أما إذا كان طول الوتر الأول غير كامل أى وترأ جزئياً وليكن طوله  $ل_1$   
فتحسب زاوية الانحراف الأولى  $ه_1$  كما يلي :

$$ه_1 = \frac{ل_1 ۱۷۱۸,۹}{س} \dots \dots \dots \text{بالدقائق}$$

$$ه_1 = ه_1 + ه_2$$

$$ه_2 = ه_2 + ه_3 = ه_1 + ه_2 + ه_3$$

.....

$$ه_3 = \text{زاوية الانحراف لآخر نقطة على المنحنى قبل نقطة التماس الثانية}$$

$$= ه_1 + (ه - ۱) ه$$

ثم نحسب طول الوتر الجزئى الأخير وزاويته المحيطية من المعادلة ولتكن  $ه_3$   
فيجب أن يكون :

$$\frac{۱}{۲} ه = ه_1 + (ه - ۱) ه + ه_3 \dots \dots \dots (۱۱۲)$$

مثال — يراد توقيع منحنى نصف قطره ٦٠٠ متراً بأوتاد طول كل منها ٢٠ متراً وبجهاز يقرأ إلى ٢٠ ثانية . احسب زوايا الانحراف اللازمة لتوقيع المنحنى ، علماً بأن زاوية التقاطع = ٣٦ ' ٥٢٤ وتدرج نقطة تقاطع المماسين = ٧٣,٨٨ جنزيراً .

الحل :

$$ف = ٦٠٠ \text{ ظا } \frac{۱}{۲} (٣٦ ' ٥٢٤) = ١٣٠,٨ \text{ متراً } = ٦,٥٤ \text{ جنزيراً}$$

$$\text{تدرج نقطة التماس الأولى} = ٧٣,٨٨ - ٦,٥٤ = ٦٧,٣٤ \text{ جنزيراً}$$



طول الوتر الجزئى الأول  $\text{ك} = 68,00 - 67,34 = 0,66$  جنزيراً  
لأن تدريج النقطة الأولى على المنحنى  $68,00$  جنزيراً

$$\text{هـ} = \frac{0,66 \times 1718,9}{30} = 37,81$$

$$\text{هـ} = \frac{1 \times 1718,9}{30} = 57,30$$

وبما أننا نقرب إلى 20 ثانية :

$$\text{زاوية انحراف النقطة الأولى (هـ)} = 37,81 = 37' 40''$$

$$\text{زاوية انحراف النقطة الثانية (هـ)} = 37,81 + 57,30 = 95,11 = 95' 11''$$

$$01' 35'' =$$

$$\text{زاوية انحراف النقطة الثالثة (هـ)} = 95,11 + 57,30 = 152,41 = 152' 41''$$

$$02' 32'' =$$

... ..

$$\text{زاوية انحراف النقطة الثالثة عشر (هـ)} = 668,11 + 57,30 =$$

$$725,41 = 725' 41''$$

وهذه هي النقطة الأخيرة قبل نقطة التماس الثانية لأن  $\frac{1}{2}$  هـ =  $18' 12''$

ولو حسبنا هـ<sub>٤</sub> لوجدنا أنها تزيد عن  $\frac{1}{2}$  هـ

تحقيق العمل الحسابى :

$$\text{طول المنحنى} = 0,01745 \times 524,6 \times 30 = 12,88 \text{ جنزير}$$

$$\text{تدريج نقطة التماس الثانية} = 67,34 + 12,88 = 80,22 \text{ جنزير}$$

$$\text{طول الوتر الجزئى الأخير لـ} = 0,22 \text{ جنزير}$$

$$\text{هـ} = 0,22 \times 57,30 = 12,61$$



$$\text{وفي حسابنا السابق } = 18' 12'' - 5,41' 12'' = 12,59'$$

وبذا تحقق العمل الحسابي إذ أن الفرق  $0,02$  من الدقيقة وهذا الفرق الضئيل جداً ناتج من فرض أن طول الوتر يساوي طول القوس ، ولو كان هذا الفرق كبيراً فلا يمكن إهماله لأن فرض تساوي القوس والوتر يكون غير صحيح .

وتوجد طريقة أخرى بإستعمال درجة المنحنى وهي موضحة في المثال التالي :

**مثال —** عين المقادير اللازمة لتخطيط منحنى درجته  $4^\circ$  وزاوية انحرافه  $36^\circ$  إذا كان تدريج نقطة التماس الأولى  $72,600$  .  
**الحل :**

$$س = \frac{1146}{5} = \frac{1146}{4} = 286,5 \text{ متراً}$$

$$\text{طول القوس} = ق = 0,1745 هـ س$$

$$= 179,98 \text{ متراً} = 9 \text{ جنازير}$$

$$\text{أو} \quad ق = \frac{0}{5} ل = 20 \times \frac{36}{4}$$

$$= 180 \text{ متراً} = 9 \text{ جنازير}$$

$$\text{تدريج نهاية المنحنى} = 72,600 + 9 = 81,600$$

$$\text{طول الوتر الجزئي الأخير} = 0,600 \text{ طول الوتر الجزئي الأول} = 0,400$$

$$\text{زاوية انحراف وتر القياس} = \frac{0}{2} = 0,2$$

$$\text{زاوية انحراف النقطة الأولى} = 1 \times \frac{0}{2}$$

$$= 0,4 \times \frac{4}{2} = 0,8 = 48'$$



زاوية الانحراف المقابلة للوتر الجزئى الأخير  $= \frac{0.5}{2} \times L$

$$0.12' = 0.6 \times \frac{4}{2} =$$

الكميات اللازمة للتخطيط هي كما بالجدول ( ٢٤ ) الآتى :

جدول ( ٢٤ )

النقطة	التدرج	زاوية الانحراف المقابلة	زاوية الانحراف الكلية
أول المنحنى أ	٧٢,٦٠٠	٠... '... ''...	٠... '... ''...
١	٧٣	٠... ٤٨	٠... ٤٨
٢	٧٤	٢	٢ ٤٨
٣	٧٥	٢	٤ ٤٨
٤	٧٦	٢	٦ ٤٨
٥	٧٧	٢	٨ ٤٨
٦	٧٨	٢	١٠ ٤٨
٧	٧٩	٢	١٢ ٤٨
٨	٨٠	٢	١٤ ٤٨
٩	٨١	٢	١٦ ٤٨
نهايته ب	٨١,٦٠٠	٠١ ١٢	٠١٨ '... $\frac{0.5}{2}$



## ٢ - التخطيط بواسطة جهازى تيودوليت

تستعمل هذه الطريقة إذا كان المنحنى واقعاً فى أرض لا يمكن إستعمال الشريط أو الجنزير فيها كالأراضى الوعرة والمستنقعات .

وتعتبر هذه الطريقة من أدق الطرق لأن كل نقطة توقع مستقلة عن أى نقطة أخرى ، ولكن عيبها ضرورة استعمال جهازى تيودوليت وأثنين من المهندسين فى آن واحد .

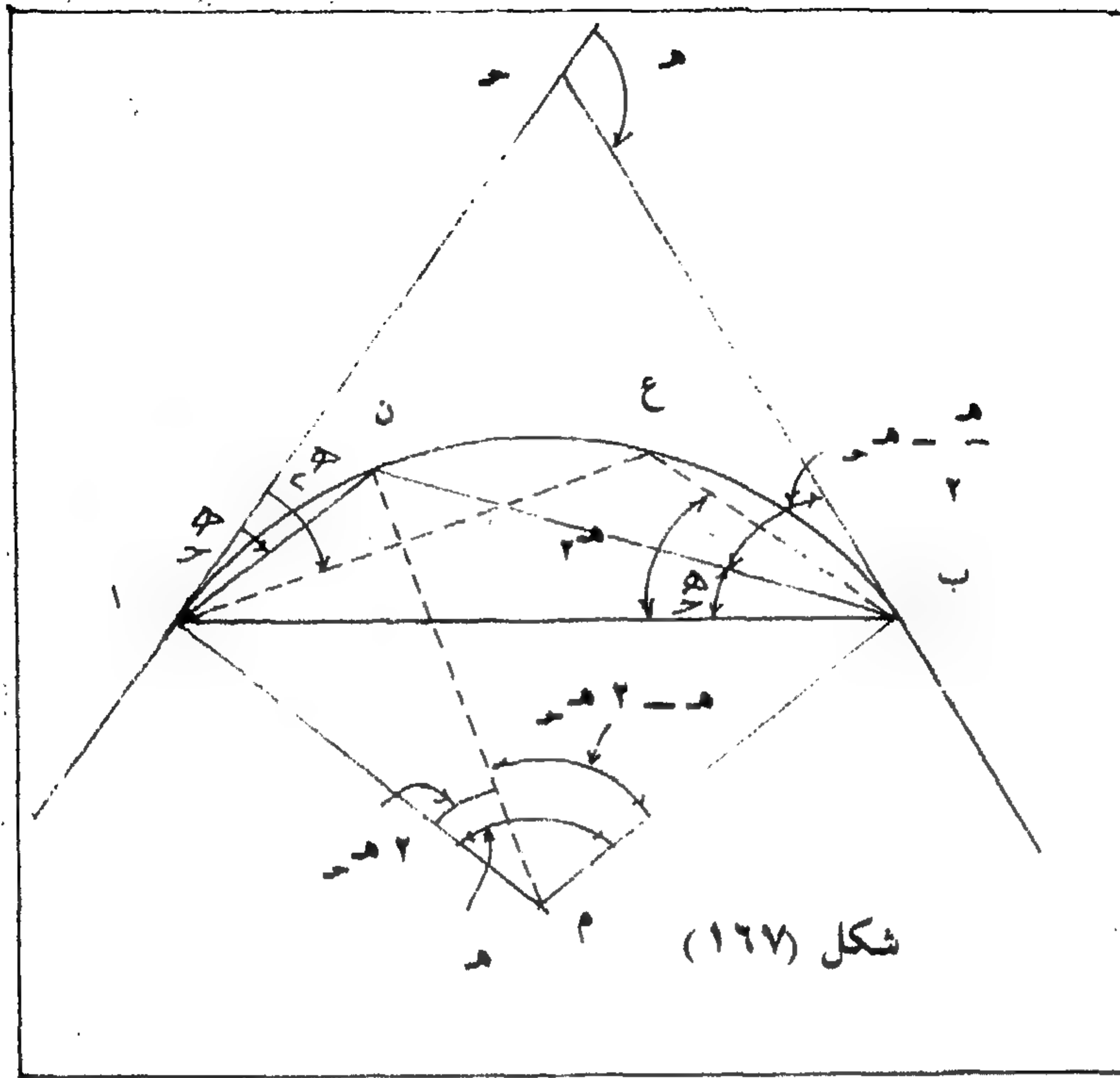
### طريقة تخطيط المنحنى :

١ - يوضع تيودوليت فى كل من ا ، ب شكل ( ١٦٧ ) ويستعملان فى نفس الوقت بحيث يوجه التيودوليت فى ا توجيهاً أساسياً على المماس ا بينما يوجه التيودوليت فى ب توجيهاً أساسياً على الوتر الكلى ا ب .

٢ - تحسب زوايا الانحراف الكلية ه<sub>١</sub> ، ه<sub>٢</sub> ، ه<sub>٣</sub> ، ... كما فى الطريقة السابقة ثم يحرف منظار التيودوليت فى ا بزاوية تساوى ه<sub>١</sub> عن المماس ا ح وفى نفس الوقت يحرف منظار التيودوليت فى ب بنفس الزاوية ه<sub>١</sub> عن الوتر الكلى ا ب فيتقاطع خطا نظر التيودوليتين فى النقطة ا<sub>١</sub> وهى احدى نقط المنحنى وتعين بنفس الطريقة النقطا<sub>٢</sub> ، ا<sub>٣</sub> وهكذا ويتم ذلك بأن نحرك شوكة أو شاخص حتى يقع على خطى النظر فى كل من الجهازين فى آن واحد فيكون موقع الشوكة هو موقع النقطة على المنحنى .

٣ - فى حالة صعوبة رؤية نقطة ا من نقطة ب توقع زوايا الانحراف من المماس الجزئى ب ح بالنسبة للتيودوليت الموضوع فى ب ، وتكون زوايا الانحراف التى ينحرف بها منظار هذا التيودوليت عن المماس ب ح هى  $(\frac{ه}{٢} - ه_١)$  ،  $(\frac{ه}{٢} - ه_٢)$  ،  $(\frac{ه}{٢} - ه_٣)$  لكى توقع النقطا<sub>١</sub> ، ا<sub>٢</sub> ، ا<sub>٣</sub> على الترتيب ، حيث ه هى زاوية تقاطع المماسين .





### ٣ - التخطيط باستعمال القياسات الطولية فقط

نستعمل هذه الطريقة عندما تكون الدقة العالية غير مطلوبة كما في حالة الطرق ومنحنيات الترام القصيرة والمباني وما شابه .

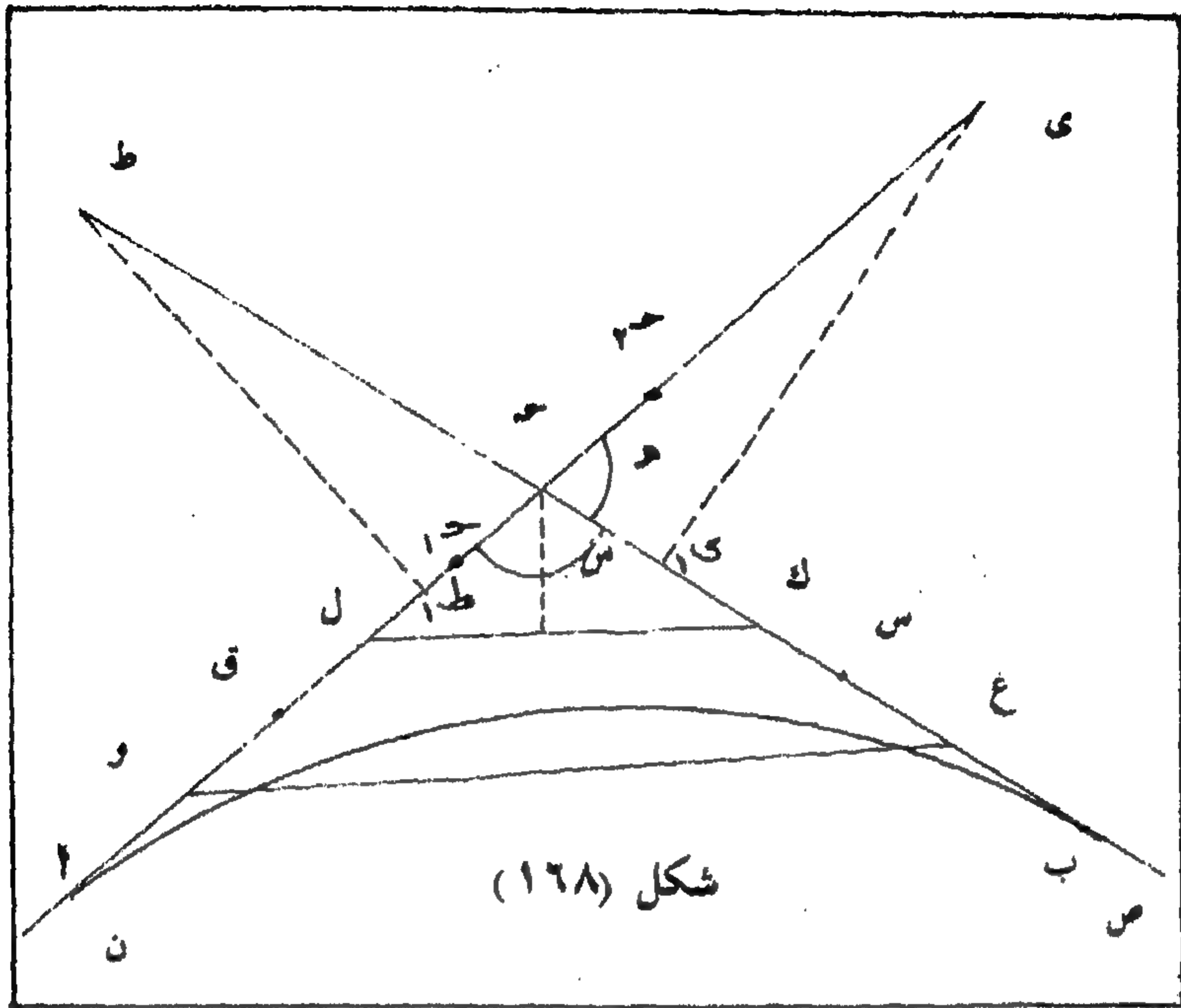
تعيين زاوية التقاطع :

توجد عدة طرق لايجاد زاوية التقاطع باستعمال القياسات الطولية ، ومن ثم نقطتى التماس ومن هذه الطرق ما يلي :

الطريقة الأولى :

نمد المماسين هـ و ، ص س باستعمال الشواخص والشوك . نضع الشاخصين حـ ١ ، حـ ٢ على امتداد هـ و ( شكل ١٦٨ ) ونشد بينهما شريطاً ، ثم نتحرك عليه حتى نعين نقطة ب على امتداد ص س فتكون هي





نقطة تقاطع المماسين . يؤخذ على المماسين  $ح ل = ح ك$  بحيث يكون  $ك ل$  طولاً مناسباً ثم يقاس طوله .

$$\frac{\frac{ل ك}{٢}}{\frac{ح ك}{٢}} = \frac{١}{٢} س$$

زاوية التقاطع  $هـ = ١٨٠^\circ - س$

الطريقة الثانية :

نمد  $ص$  إلى  $ط$  شكل ( ١٦٨ ) ونسقط منها عموداً على المماس الآخر وليكن  $ط ط_١$  وكذلك العمودى  $ي ي_١$  . يقاس كل من  $ح ط_١$  ،  $ط ط_١$  ،  $ح ي_١$  ،  $ي ي_١$  .

$$\frac{ط ط_١}{ح ط_١} = \frac{ي ي_١}{ح ي_١} = ظاه$$



نأخذ متوسط القيمتين الناتجتين فنحصل على قيمة هـ .

### الطريقة الثالثة :

إذا لم يتيسر أخذ طولين متساويين ، نختار أى نقطتين مثل و ، ع على  
ا ب ، ب ح على الترتيب شكل ( ١٦٨ ) ونقيس أضلاع المثلث ع ح و ثم  
نحسب الزوايا بمعلومية الأضلاع باستعمال قانون جيب التمام .

### تخطيط المنحنى :

وفيما يختص بتخطيط المنحنى نفسه فتوجد لذلك عدة طرق وهى :

#### أولاً — طريقة امتداد الوتر السابق :

تعتبر هذه الطريقة أحسن الطرق لتوقيع منحنى طويل . وتوجد حالتان :

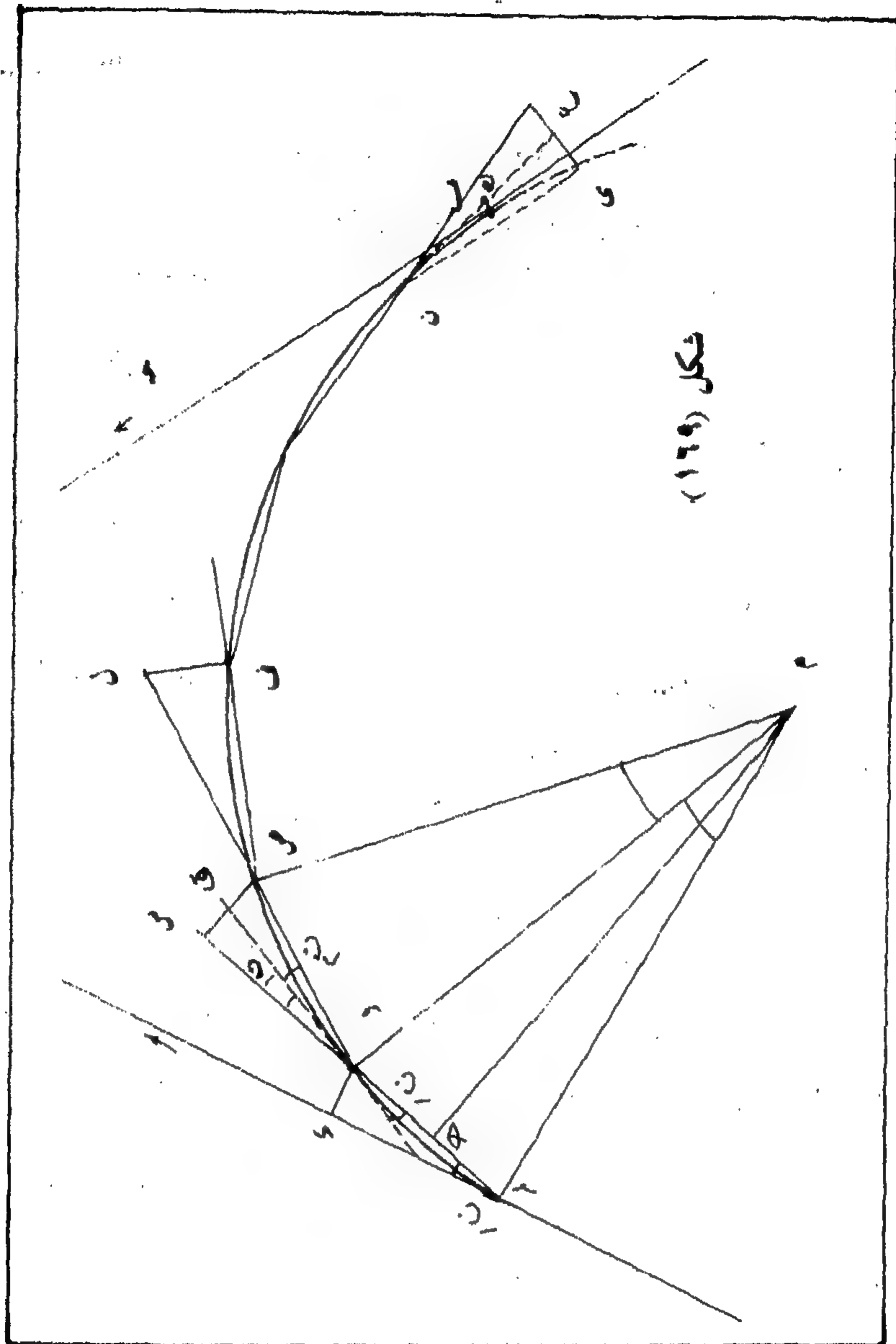
#### الحالة الأولى — عندما لا يوجد وتر جزئى فى أول المنحنى :

١ — نعين نقطتى التماس ا ، ب شكل ( ١٦٩ ) بأن نقيس من ح الطول  
ح ا = ح ب = ح ف = ح ظا  $\frac{1}{2}$  هـ .

٢ — نركز بأول الشريط فى نقطة التماس ا ، وبنصف قطر يساوى ا د  
( طول الوتر ل ) نحرك طرف الشريط حتى نحصل على البعد د و بحيث أن  
د و =  $\frac{L^2}{4s}$  فتكون ( و ) هى موقع النقطة الأولى على المنحنى ( يمكن أخذ  
د و عمودياً على ا د ) .

٣ — نسحب الجنزير أو الشريط ونجعله على إمتداد ا و ، وتأخذ عليه  
الطول س و = ل ، ونركز فى و وبنصف قطر = و س نرسم قوساً بحيث أن  
س س =  $\frac{L^2}{4s}$  فتكون س هى موقع النقطة الثانية على المنحنى .





شکل (۱۶۹)



٤ — نمد و ص إلى ل بحيث أن ل ص = طول الوتر ل . نركز في ص ونجري ما سبق بحيث أن ف ل =  $\frac{L^2}{S}$  ونستمر في العمل لتعيين نقطة بعد أخرى .

٥ — لتحقيق العمل عند الوصول إلى نقطة التماس الثانية ب ، نوجد طول الوتر الجزئي الثاني ه ب ، وليكن ل ٢ ونوقع ط ، ي كما سبق باعتبار أن ه ط ، ه ي وتر كامل . ننصف ط ي في ع يكون ه ع هو المماس عند ه . من ب نسقط العمود ب ك ونقيس طوله فيجب أن يكون طوله يساوي  $\frac{L^2}{S}$  .

ملحوظة : يمكن أخذ الأبعاد و ، س ص عمودية على ا د ، س و بدون أى خطأ يذكر .

الحالة الثانية — عندما يوجد وتر جزئي ( ل ١ ) عند أول المنحنى :  
إذا أخذنا الحالة العامة وهى أن كل الأوتار مختلفة وفرضنا أن الوتر الأول الجزئي ل ١ ، والوتر الثاني ل ٢ ، والوتر الثالث ل ٣ وهكذا . فإن طريقة العمل لا تتغير في الغيظ عما سبق إلا من ناحية أخذ الأطوال .

$$\frac{L^2}{S} = \text{العمود الأول} = و$$

$$\text{حيث } ا د = و ص = ل ١$$

$$\frac{(L_1 + L_2) L^2}{S} = \text{العمود الثاني} = س ص$$

$$\text{حيث } و س = و ص = ل ٢$$



$$\frac{(L_3 + L_2) L_3}{\mu_2} = L_3 = \text{العمود الثالث}$$

$$\text{حيث } L_3 = \text{ص} \quad \text{و} \quad L_2 = \text{ص}$$

..... (١١٣)

$$\frac{(L_2 + L_1) L_2}{\mu_2} = \text{العمود الميمى}$$

$$\frac{(L_3 + L_2) L_3}{\mu_2} = \text{العمود الأخير النوى}$$

$$\text{حيث } L_3 = \text{الوتر الجزئى الأخير}$$

وفي الحالة العملية غالباً يكون هناك وتر جزئى أول  $L_1$  ، ووتر جزئى  
أخير  $L_3$  والأوتار الأخرى كلها  $L = \text{فان} :$

$$\frac{L_1^2}{\mu_2} = E_1 = \text{العمود الأول}$$

$$\frac{(L_1 + L_2) L_2}{\mu_2} = E_2 = \text{العمود الثانى}$$

$$\frac{L_3^2}{\mu_2} = E_3 = \text{العمود الثالث} = \text{الأعمدة الأخرى ماعدا الأخير}$$

$$\frac{(L_2 + L_3) L_3}{\mu_2} = E_4 = \text{العمود الأخير}$$

ويمكن تعميم هذا القانون كالتالى :

$$E = \frac{\text{الوتر الحالى} (\text{الوتر الحالى} + \text{السابق})}{\mu_2}$$



مثال — طريقان يتقاطعان في زاوية قدرها ٣٠' ٥٥٢ . أحسب الاحداثيات اللازمة لتوقيع منحنى دائرى نصف قطره ١٥ جنزيراً ، يصل بين الطريقين بإستعمال الشريط والجنزير فقط . علماً بأن تدريج نقطة التقاطع = ٢٠ جنزيراً ( الوتر المستعمل = جنزيراً واحداً ) .

$$\text{طول المماس} = ١٥ \text{ ظا } ١٥' = ٥٢٦ = ٠,٤٩٣١ \times ١٥ = ٧,٣٩٧ \text{ جنزيراً}$$

$$\text{طول المنحنى} = ١٥ \times ٥٢,٥ \times ٠,٠١٧٤٥ = ١٣,٧٤٤ \text{ جنزير}$$

$$\text{تدرج نقطة التماس} = ٢٠,٠٠ = ٧,٣٩٧ - ١٢,٦٠٣ \text{ جنزير}$$

$$\text{طول الوتر الجزئى الأول} = ١٣,٠ = ١٢,٦٠٣ - ٠,٣٩٧ \text{ جنزير}$$

$$١٤ = \frac{L^2}{٢ \times ١٥} = \frac{(٠,٣٩٧)^2}{١٥ \times ٢} \text{ جنزير} = ٠,١٠٥ \text{ متر}$$

$$٢٤ = \frac{L^2}{٢} = \frac{(٠,٣٩٧ + ١,٠)^2}{٣٠} = ١,٠ \text{ جنزير} = ١٠,٩٢٨ \text{ متر}$$

$$٣٤ = \text{حتى ما قبل الأخير} = \frac{L^2}{١٥} = \frac{١}{١٥} \text{ جنزيراً} = ١,٢٣ \text{ متر}$$

$$\text{تدرج نهاية المنحنى} = ١٢,٦٠٣ + ١٣,٧٤٤ = ٢٦,٣٤٧ \text{ جنزيراً}$$

$$\text{طول الوتر الجزئى الأخير} = ٠,٣٤٧ \text{ جنزيراً}$$

$$\text{طول العمود الأخير} = \frac{(٠,٣٤٧ + ١)^2}{١٥ \times ٢} \text{ جنزير}$$

$$= ٠,٣١٢ \text{ متر}$$

ثانياً — طريقة الأحداثيات من أحد المماسين :

في هذه الطريقة نعين نقط على المنحنى بمعرفة إحداثياتها ( س ) من المماس



باعتبار نقطة التماس نقطة أصل ثم حساب الأحداثي ( ص ) العمودي على  
الماس بشكل ( ١٧٠ ) ، من المثلث هـ م و :

$$ص^2 = (و هـ)^2 + (م و)^2 = س^2 + (ص - و)^2 \text{ ومنها :}$$

..... (١١٤)

$$ص = و - \sqrt{(س^2 - و^2)}$$

وهذه هي العلاقة الصحيحة بين س ، ص .

وقد اتبع بيكر طريقة تقريبية لتبسيط هذه المعادلة كما يلي :

$$ص = و - \sqrt{\frac{س^2}{و^2} - 1}$$

$$\sqrt{\frac{س^2}{و^2} - 1} = 1 - \frac{س^2}{و^2} - \frac{1}{8} \frac{س^4}{و^4}$$

وبحذف القيم الصغيرة فإن المقدار تحت الجذر .

$$= 1 - \frac{س^2}{و^2} \text{ ومنها}$$

$$\therefore ص = و - (1 - \frac{س^2}{و^2})$$

ومنها تكون معادلة بيكر التقريبية :

..... (١١٥)

$$ص = \frac{س^2}{و^2}$$







لا يزيد طوله عن ربع نصف القطر ، فإن المنحنى يخطط من أحد المماسين إلى قمة المنحنى وبالمثل من المماس الآخر . ويلاحظ أنه يجب عدم استخدام قيم للمقدار س أكبر من س<sub>١</sub> ( الأحداثى السيني لنقطة القمة ) حيث :

$$\begin{aligned} \text{س} &= \text{س}_1 \text{ جا } \frac{1}{2} \text{ هـ} \\ \text{ص} &= \text{س}_1 ( 1 - \text{جتا } \frac{1}{2} \text{ هـ} ) \end{aligned}$$

( ١١٦ ) .....

أما إذا كان المنحنى طويلاً فتخطط عدة نقط من المماس الأصلي ثم نعين المماس عند آخر نقطة وصلنا إليها ثم نعين عدة نقط أخرى من هذا المماس .  
مثال — أوجد الأحداثيات اللازمة لتوقيع منحنى على مسافات متساوية كل منها = ١٠ متر على المماس مع العلم بأن نصف القطر = ٤٠٠ متر .  
الحل :

أولاً بطريقة يكر :

$$\text{الأحداثى الأول} = \frac{\text{س}_1^2}{\text{س}_2^2} = \frac{10^2}{400 \times 2} = 0,125 \text{ متراً}$$

$$\text{الأحداثى الثانى} = 0,125 \times 22 = 0,500 \text{ متراً}$$

$$\text{الأحداثى الثالث} = 0,125 \times 23 = 1,125 \text{ متراً}$$

ثانياً — الطريقة المضبوطة :

$$\text{الأحداثى الأول} = 400 - \sqrt{400^2 - 10^2} = 0,125 \text{ متراً}$$

$$\text{الأحداثى الثانى} = 400 - \sqrt{400^2 - 20^2} = 0,500 \text{ متراً}$$

$$\text{الأحداثى الثالث} = 400 - \sqrt{400^2 - 30^2} = 1,125 \text{ متراً}$$



وبذا في المسافات القصيرة أو المتوسطة لا نجد إلا فرقا ضئيلاً بين نتائج الطريقتين أما في المسافات الكبيرة مثل ١٠٠ متر فتجد :

الأحداث ( بيكر ) =  $\frac{100}{800} = 12,50$  متر

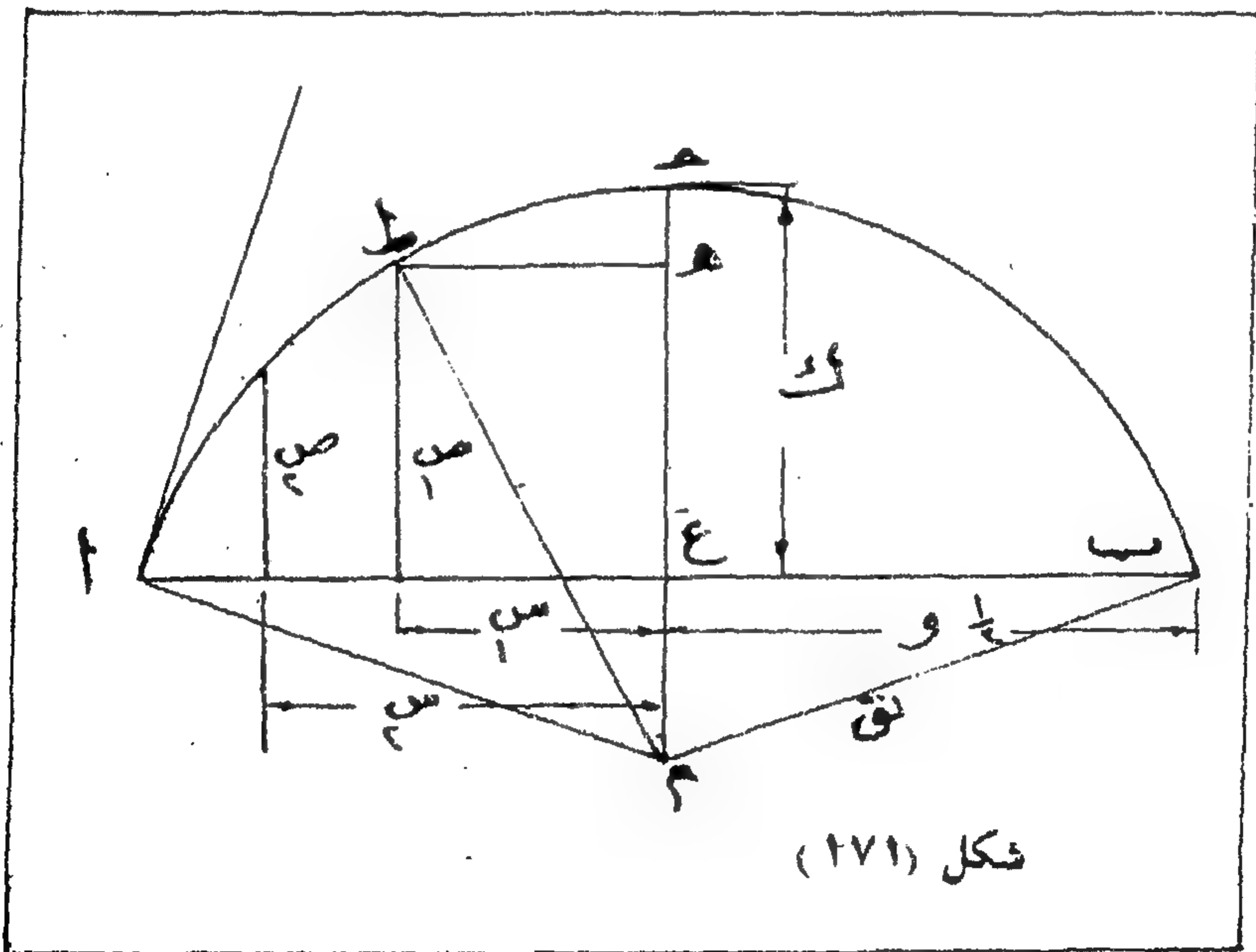
والأحدثى بالطريقة المضبوطة =  $40 - 7 = 33 = (400) - (100) = 300$  متر

وبذا فإننا في المسافات الكبيرة نحسن توقع الجزء المتوسط من المنحنى  
بمماس آخر .

ثالثاً - طريقة الأحداثيات من الوتر الكلى للمنحنى :

المطلوب إيجاد طول الأحدثيات ج<sub>١</sub> ، ص<sub>٢</sub> ، ... من نقط على الوتر الكلى ، وتبعد بمسافات س<sub>١</sub> ، س<sub>٢</sub> من نقطة منتصف الوتر .

ف شکل ( ۱۷۱ ) :





طول الوتر الكلى ( و ) =  $2 \sqrt{\frac{1}{2}}$  جا  $\frac{1}{2}$  هـ .

فى المثلث هـ ط م :

$$(م ط)^2 = (هـ ط)^2 + (هـ م)^2$$

$$2 = 1 + (ص + 1 ع م)^2$$

$$(2 - 1 س)^2 = 1 + ص - 2 ك$$

$$ص - 2 ك = 1 + (2 - 1 س)^2$$

$$2 ك = 1 + (2 - 1 س)^2 - ص$$

ومن المعادلتين السابقتين تصبح المعادلة العامة لأى نقطة :

$$ص = \sqrt{1 - 1 س} - \sqrt{1 - 1 س} - \frac{2}{4} \dots (117)$$

مثال : أوجد الأحداثيات اللازمة لتوقيع منحنى نصف قطره ٤٩٥ متراً وطول الوتر الكلى ٢٠٠ متر وذلك على مسافات متساوية من منتصف الوتر كل منها = ٢٥ متراً .

الحل :

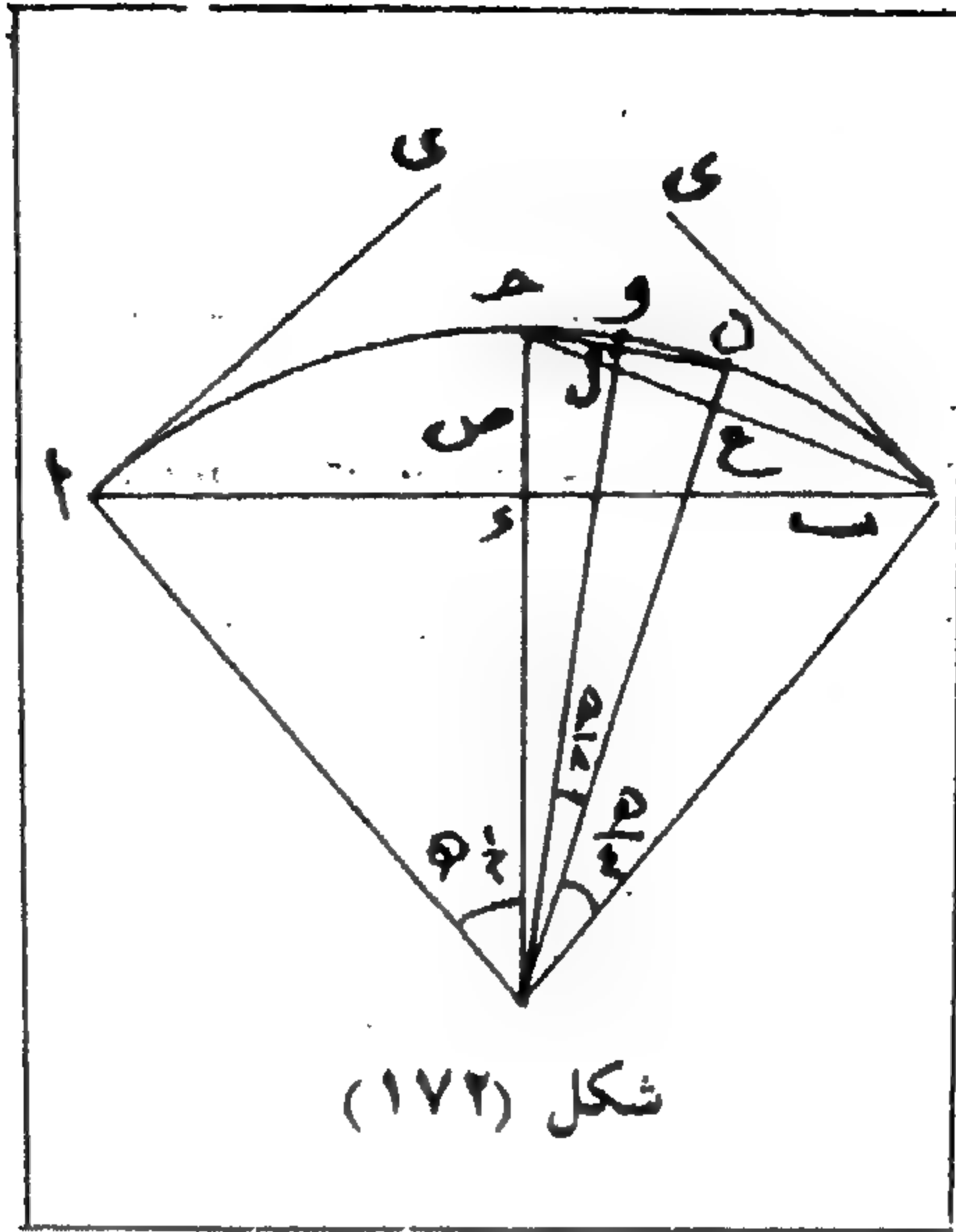
بأخذ المسافات صفر ، ٢٥ ، ٥٠ ، ٧٥ متراً فإن ص تكون ١٠ ، ٩ ، ٣٧ ، ٧ ، ٤٧ ، ٤ ، ٢٩ متراً على التوالى .

رابعاً — طريقة تنصيف الأقواس على التعاقب :

فى شكل ( ١٧٢ ) :

١ — أ ، ب ، ج ، هما المماسان . تنصف الوتر أ ب فى د .





٢ - نوقع أولاً قمة المنحنى بتعيين الطول ص من المعادلة :

$$ص = ص ( ١ - جتا \frac{١}{٢} هـ ) .$$

٣ - نعين نقط أخرى على المنحنى بأن ننصف الوتر حـ في ع ، ونقيس

$$عليه العمود هـ ع = ص ( ١ - جتا \frac{١}{٤} هـ ) .$$

٤ - نكرر ذلك مع الوتر هـ حـ لتعيين ( و ) بالعمود ول من منتصفه

$$حيث ول = ( ١ - جتا \frac{٨}{٨} هـ ) . وهكذا حتى نحصل على أى عدد نريده$$

لتوقيع المنحنى .

٥ - نكرر ذلك في نصف المنحنى الآخر . ويمكن إيجاد طول العمود

بالمعادلة الآتية وهى لا تعطى نتائج دقيقة عندما يكون الوتر كبيراً بالنسبة لنصف القطر .



(١١٨) .....

$$\frac{\text{العمود من منتصف الوتر}}{\text{٨ س}} = \text{( الوتر )}^2$$

خامساً - طريقة تعيين نقط معلوم بعدها من أول المنحنى :  
معنى هذا تعيين أحداثيات أى نقطة إذا علم موقعها أو تدرنجها على المنحنى .

نفرض فى شكل ( ١٧٣ ) أننا نريد تعيين  $ا$  ح ،  $س$  ح إحداثى النقطة  $س$  إذا علمت المسافة  $ا$  س على المنحنى .

$$س = \frac{\text{القوس } ا س \times ٥١٨٠}{ط س}$$

$$س = \frac{ا}{٢} ه - ه$$

$$ا ح = ا ع - ع ح = س ( جا \frac{ا}{٢} ه - جا ه )$$

$$ح س = ع ك - ط ك = س ( ا - جتا \frac{ا}{٢} ه ) = س ( ا - جناه )$$

$$س = ( جناه - جتا \frac{ا}{٢} ه )$$

(١١٩)

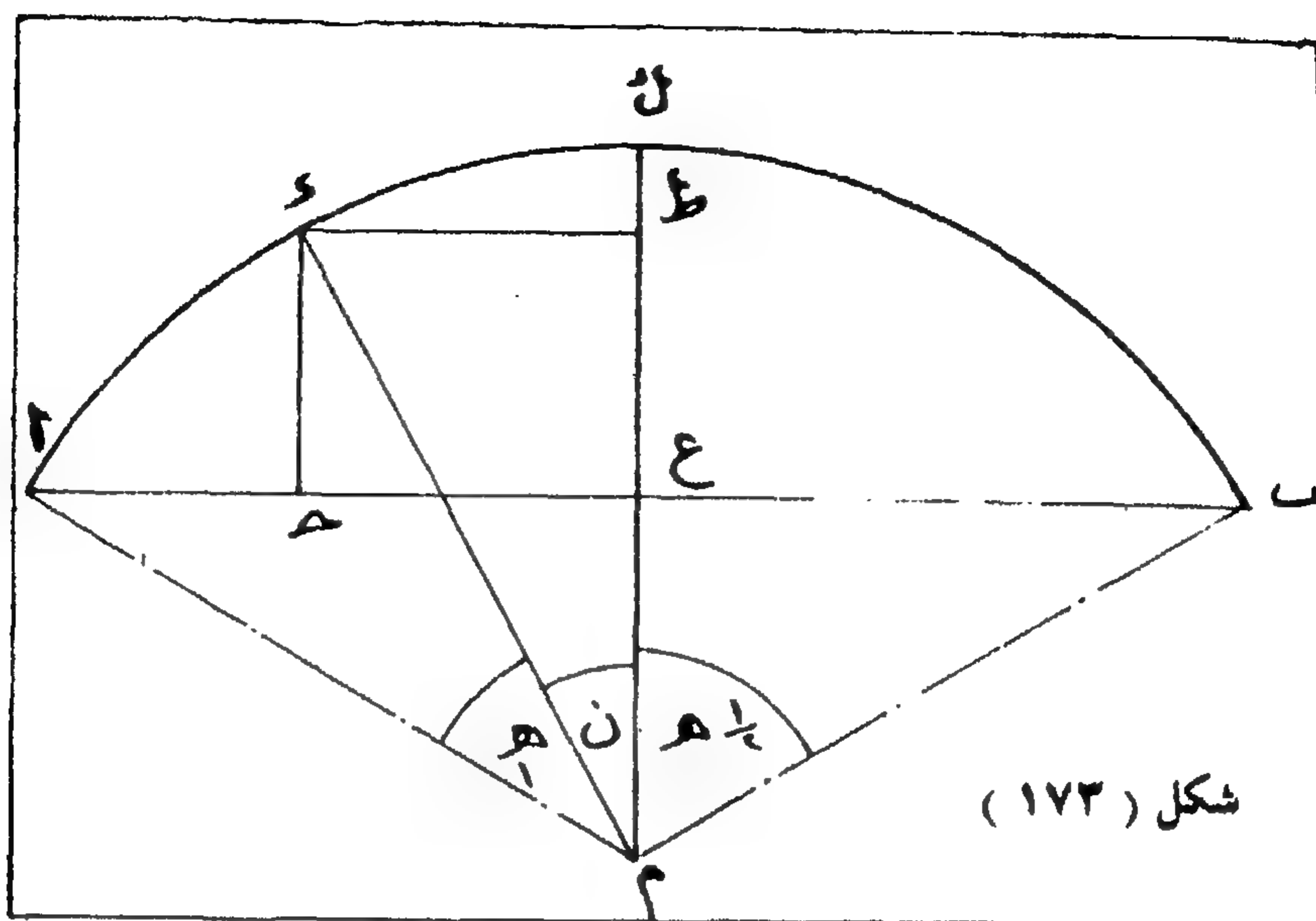
الأحداثى الأفقى لأى نقطة على المنحنى من نقطة الابتداء

$$س = ( جا \frac{ا}{٢} ه - جا ه )$$

الأحداثى الرأسى بالنسبة لأى نقطة على المنحنى

$$س = ( جناه - جتا \frac{ا}{٢} ه )$$





حيث هـ هي الزاوية المركزية بين قمة المنحنى والنقطة المطلوبة على المنحنى .

### العقبات عند توقيع المنحنيات

غالباً ما يعترضنا أثناء تخطيط وتوقيع المنحنيات بعض الصعوبات تتمثل أساساً في عدم إمكانية تنفيذ التخطيط للمنحنى بالطرق المعروفة — نظراً لوجود عوائق — ولذا فلا بد من البحث عن طرق بديلة للتغلب على هذه الصعوبات — وفيما يلي أهم حالات العقبات التي تعترض توقيع وتخطيط المنحنيات وكيفية التغلب عليها :

الحالة الأولى — وجود عائق يمنع الوصول إلى نقطة تقاطع المماسين واحتلالها :

تعتبر نقطة تقاطع المماسين من أهم النقط اللازمة لتخطيط المنحنى حيث يقاس منها زاوية تقاطع المماسين عن بعضهما ( هـ ) وكذلك نبدأ منها قياس



المماس الجزئى لتعيين أول ونهاية المنحنى ( ٤ ) وتقابلنا هذه الحالة عندما تقع نقطة التقاطع داخل منخفض أو فى منطقة مائية أو فى مبانى أو ماشابه .

#### ١ - عند استعمال جهاز التيودوليت

فى شكل ( ١٧٤ ) نختار ح د فى أى وضع مناسب ويقطع اتجاه المماسين فى ح د ، ثم تقاس بالتيودوليت الزاويتان س ، ص .

$$\text{الزاوية ه} = \text{الزاوية س} + \text{الزاوية ص}$$

$$\text{نحسب طول المماس ف} = \frac{\text{ص} \text{ ظا } \frac{1}{2} \text{ ه}}$$

يقاس ح د من الطبيعة ونحل المثلث ح د ت لنحصل على ت ح د ، ت د من العلاقة :

$$\frac{\text{ح د}}{\text{جا ص}} = \frac{\text{ح د}}{\text{تجاه}} = \frac{\text{ت د}}{\text{جا س}}$$

ولتعيين نقطة التماس الأولى ( أ ) نقيس الطول ح أ من ح = ب أ - ت ح كما حسب وبالمثل بالنسبة إلى أ ، ثم نخطط المنحنى بالطرق المعروفة .

ويحدث كثيراً أنه لا يمكن اختيار خط مثل د ح ويكون فى وضع مناسب ، ولذلك فإنه من الضرورى أن نشكل توافرس بين د ، ح . ومن ثم يمكن إيجاد الزاويتين ح د أ ، أ ح د والمسافة د ح من الحساب .

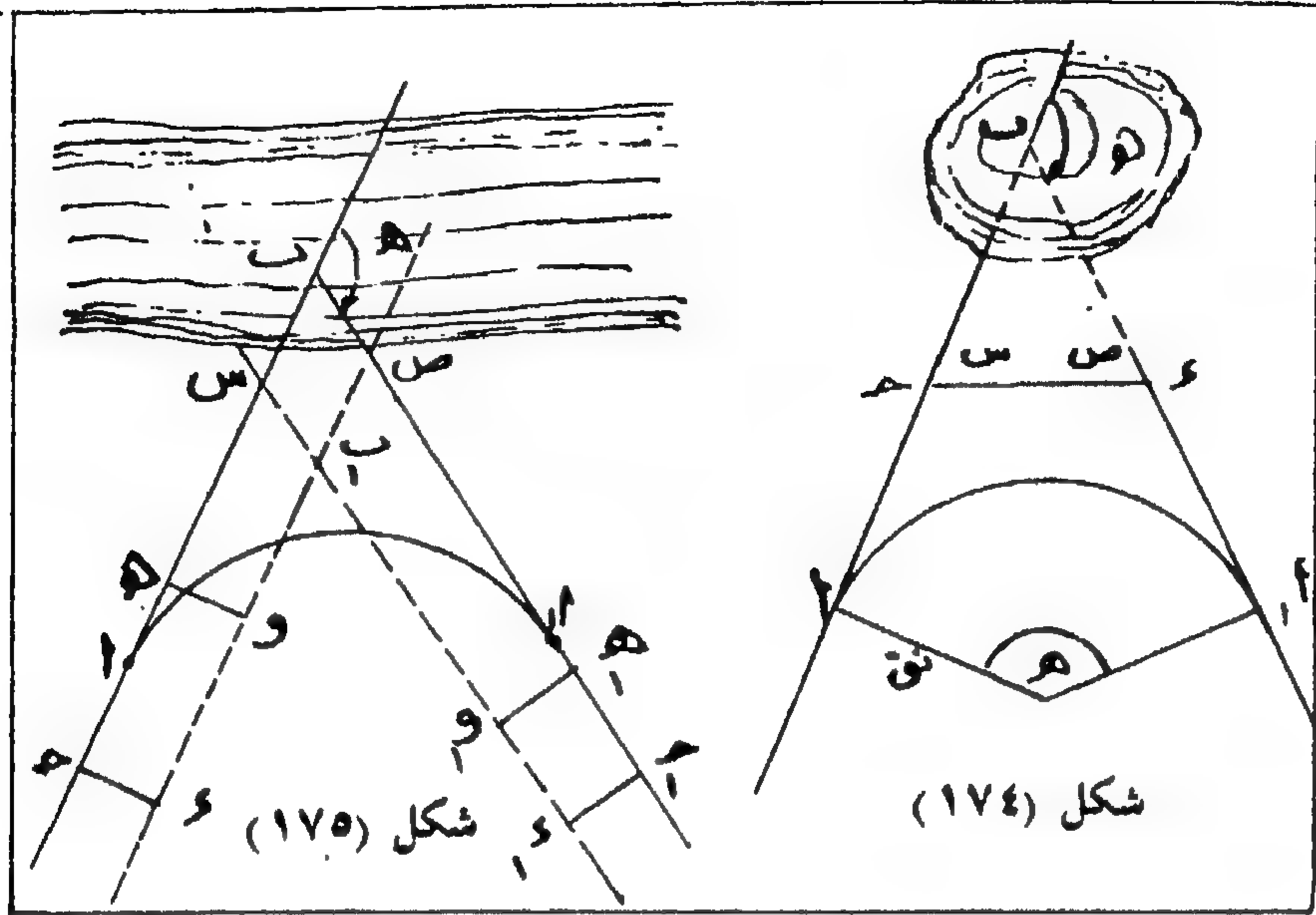
مثال - فى شكل ( ١٧٤ ) قيست الأرصاد الآتية من الطبيعة :

$$\text{س} = ٥١٨' ٠٠ ، \text{د} = ٣١٢,٢ \text{ متراً} ، \text{ص} = ١٢' ٣٢$$

المطلوب إيجاد الزاوية ه ، والمسافة أ ح علماً بأن نصف قطر المنحنى

٦٠٠ م .





الحل :

$$\text{الزاوية ه} = \text{س} + \text{ص} = ١٢' ٥٥.$$

$$\text{بحل المثلث ب د ح} : \frac{\text{د ح جا ص}}{\text{جا ه}}$$

$$= \frac{٠,٥٣٢٨٨ \times ٣١٢,٢}{٠,٧٦٨٢٨} = ٢١٦,٥٤ \text{ متراً}$$

$$\text{ب د} = \frac{\text{د ح جا ص}}{\text{جا ه}} = \frac{٠,٢٠٩٠٢ \times ٣١٢,٢}{٠,٧٦٨٢٨} = ١٢٥,٥٧ \text{ متراً}$$

$$\text{طول المماس ا ب} = ٦٠٠ \text{ ظا } ٠,٦' ٥٢٥ =$$

$$= ٠,٤٦٨٤ \times ٦٠٠ = ٢٨١,٠٤ \text{ متراً}$$

$$\therefore \text{طول ا ح} = ٢١٦,٥٤ - ٢٨١,٠٤ = ٦٤,٥٠ \text{ متراً}$$

$$\text{ب د} = ١٢٥,٥٧ - ٢٨١,٠٤ = ١٥٥,٤٧ \text{ متراً}$$



## ب - عند استعمال القياسات الطولية

تقام الأعمدة  $ح د ه و ح ه و$  ، شكل ( ١٧٥ ) من نقط مناسبة بحيث تكون هذه الأعمدة منساوية الطول ومناسبة بحيث تتقابل الخطوط  $و ه و ه$  ، في نقطة مثل  $ب$  ، يمكن الوصول إليها وبحيث يكون تقابلهما مع المماسين الأصليين في نقطتين مثل  $س$  ،  $ض$  من الممكن الوصول إليهما أيضاً  $ب ه ت و$  ، يوازيان المماسين  $ا ب$  ،  $ا ح$  ، وعلى ذلك فالزاوية بينهما = زاوية تقاطع المنحنى .

وبقياس الزاوية  $س ب ه$  ، ( بواسطة الجنزير والشريط ) يمكن تعيين ( ه ) زاوية تقاطع المنحنى .

ومن الشكل لدينا أيضاً .

$$ب س = ب ض ، ب = س = ب = ص$$

وبقياس  $ب$  ،  $ص$  يمكن معرفة  $ب س$  ،  $ب ص$  .

$$١ . ا س = ا ص = طول المماس - ب س = س - ظا ه - ت س$$

وحيث أن نقطتي  $س$  ،  $ض$  موجودتان على الطبيعة فإنه يمكن تعيين نقطتي  $ا$  ،  $ا$  ( بداية ونهاية المنحنى ) وبذا يمكن تخطيط المنحنى بإحدى طرق التخطيط المعروفة

الحالة الثانية - وجود عائق يمنع الوصول إلى نقطة التماس الأولى :

١ - يجب أن يوجه عمل الغيط أولاً إلى إيجاد تدريج نقطة التماس الأولى ( ١ ) ومن ثم طول الوتر الجزئي الأول والأخير ، ولذلك ننشئ المثلث  $س و ل$  شكل ( ١٧٦ ) على المماس الجزئي الأول  $ا ح$  ، ونقيس الطولين  $ل و$  ،  $س و$  والزاوية  $س و ل$  .

٢ - بحل هذا المثلث نحصل على الطول  $س ل$  ، وحيث أن تدريج الطريق مستمر من بدايته ، لذلك يمكن معرفة تدريج نقطة  $ل$  . وبإضافة الطول  $ل س$



المحسوب من المثلث وكذلك الطول  $s$   $\rightarrow$  المقاس من الطبيعة نحصل على تدريج نقطة تقاطع المماسين  $(\rightarrow)$  وبمعرفة طول المماس نعين تدريج نقطة  $a$  ( بداية المنحنى ) وبإضافة طول المنحنى إلى تدريج  $a$  ( نحصل على تدريج نقطة ب ( نهاية المنحنى ) .

$$\begin{aligned} ٣ - \text{تدرج } a &= \text{تدرج } l \text{ ( بالقياس من بداية الطريق )} \\ + l \text{ س ( المحسوب من المثلث و س )} \\ + s \text{ س ( مقاس من الطبيعة )} \\ - a \text{ ( طول المماس من ظاهر )} \\ ٢ \end{aligned}$$

$$\text{تدرج ب} = \text{تدرج } a + \text{طول القوس } q$$

٤ - يمكن تخطيط المنحنى ابتداء من نقطة التماس الثانية ( ب ) وذلك بطريقة الانحراف بعد تعيين المقادير اللازمة لذلك وهى طول الوتر الجزئى الأول والوتر الجزئى الأخير وزوايا إنحرافهما وكذلك أوتار القياس وإنحرافاتها .  
الحالة الثالثة - وجود عائق يمنع الوصول إلى نقطتى التماس ( بداية ونهاية المنحنى )

- ١ - فى شكل ( ١٧٧ ) نوجد طول  $a$  س وتدرج نقطة  $a$  كما فى الحالة السابقة .
- ٢ - نقيم عموداً على المماس من س وعلى هذا العمود نأخذ المسافة  $s$  مساوية  $s - \sqrt{s^2 - (a - s)^2}$  فتكون  $(s - h)$  هى إحدى نقط المنحنى .
- ٣ - ننقل التيودوليت إلى نقطة  $h$  حتى يمكن تكمله توقيع المنحنى .
- ٤ - نحسب طول جزء المنحنى  $a$   $h$  من الزاوية التى تحصرها عند المركز وهى  $\angle \frac{a}{s}$  وبذا فإن تدرج  $h$  = تدرج  $a$  + طول القوس  $a$   $h$  .



٥ - نحسب زوايا الانحراف لتوقيع المنحنى من المماس هـ ص وترتيبها في جدول . ولتوقيع ط أول نقطة على المنحنى وعلى مسافة ل من هـ ( الوتر الجزئى بالنسبة للنقطة هـ ) نوجه المنظار أولاً إلى س ثم ندير التيودوليت بزاوية مقدارها س هـ ط .

الزاوية س هـ ط = ٥٩٠ + جا  $\frac{1}{\sin}$  زاوية انحراف الوتر الجزئى

الأول .

وهناك طريقة أخرى وهى تخلص فيما يلى :

١ - فى شكل ( ١٧٨ ) بعد حساب تدريج ا نضيف إليه المقدار  $(\frac{9}{2})$

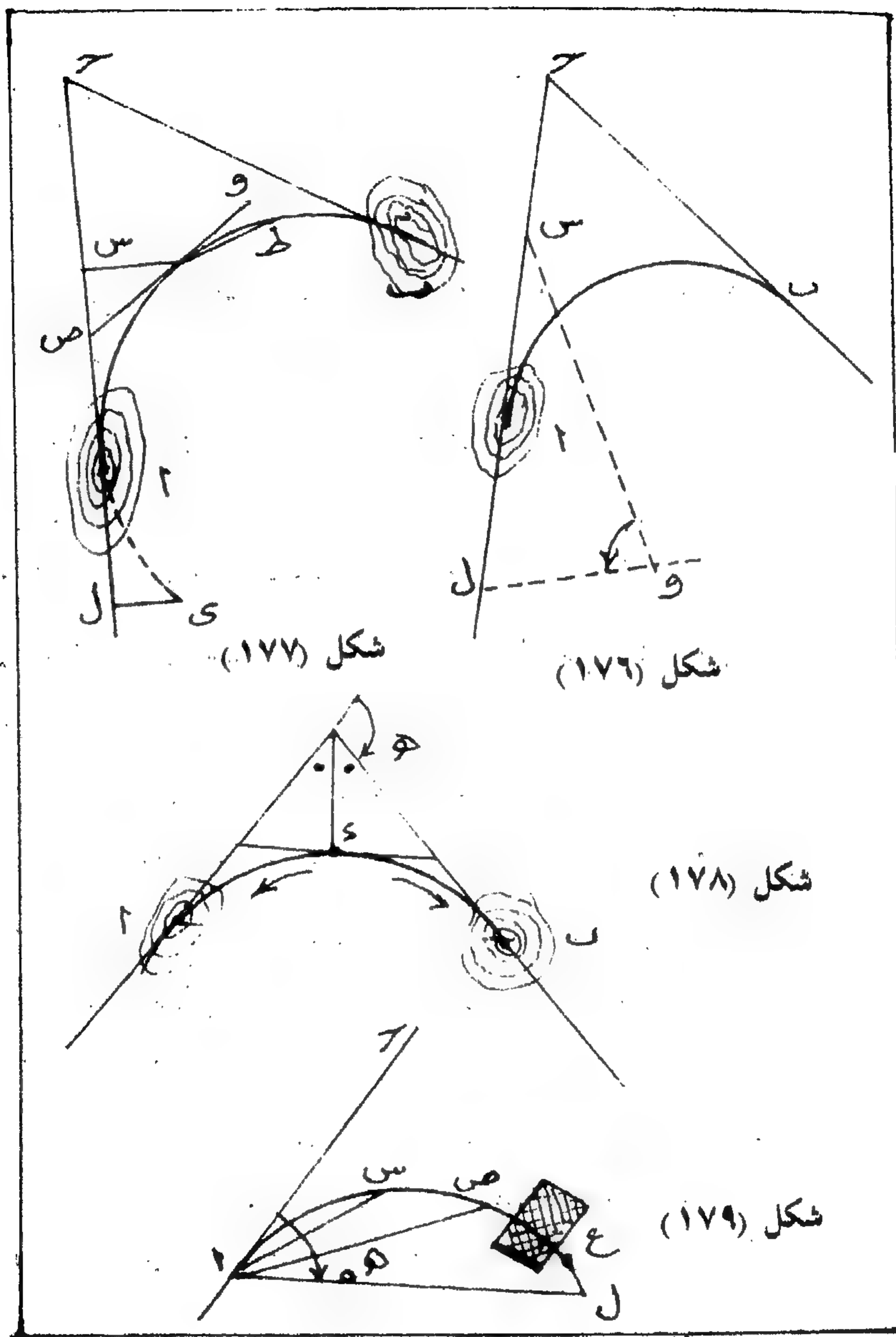
لنحصل على تدريج قمة المنحنى ولتعيين موقعها فى الطبيعة ننصف الزاوية الداخلية بين المماسين وعلى هذا المنصف تؤخذ المسافة حـ د مساوية للسهم الخارجى - س ( قاهـ - ١ ) فتحدد نقطة د ( قمة المنحنى ) .

٢ - نتقل بالتيودوليت إلى نقطة د ، ونوجه إلى نقطة التقاطع حـ ، ونقيم عموداً عليه فنحصل على المماس للمنحنى عند القمة ونحسب زوايا الانحراف لتوقيع المنحنى من المماس عند نقطة القمة بالنسبة لنصفيه الأيمن والأيسر .  
الحالة الرابعة - عندما يعترض المنحنى عائق واقع عليه :

فى هذه الحالة من الضرورى ترك توقيع الجزء المشتمل على هذا العائق عند الأنشاء . ولايجاد مواضع النقط على المنحنى بعد العائق نتبع ما يلى :

١ - بعد توقيع النقط س ، ص شكل ( ١٧٩ ) بالطريقة العادية ( وهما كل النقط حتى ما قبل العائق ) ، نوجد من جداول زوايا الانحرافات من الغيط أول خط يتفادى العائق وليكن الخط ا ل وزاوية انحرافه هـ د . والمفروض أن نقطة ع بعد العائق ولا يمكن رؤيتها من ا .







٢ - نحسب طول  $ال$  من المعادلة :

$$\frac{\frac{1}{2} \text{ الوتر}}{\frac{1}{2}} = \text{جا } \frac{1}{2} \text{ ( الزاوية المحصورة بالوتر عند المركز )}$$

طول الوتر  $ال = ٢ \sin \text{ جا } \frac{1}{2}$

٣ - على إتجاه خط النظر الموجه بانحراف  $هـ$  نقيس مسافة تساوى  $ال$  المحسوبة تتعين  $ل$  .

٤ - تكمل توقيع باقى المنحنى بالطريقة العادية .

٥ - يمكن توقيع نقطة مثل  $ع$  إذا نقل الجهاز إلى  $ل$  ، وذلك بزوايا الانحراف من  $ل$  ، وإلا فيمكن تركها حتى يزال العائق عند التنفيذ .

الحالة الخامسة - عندما لا يمكن تخطيط المنحنى كله من نقطة التماس الأولى :

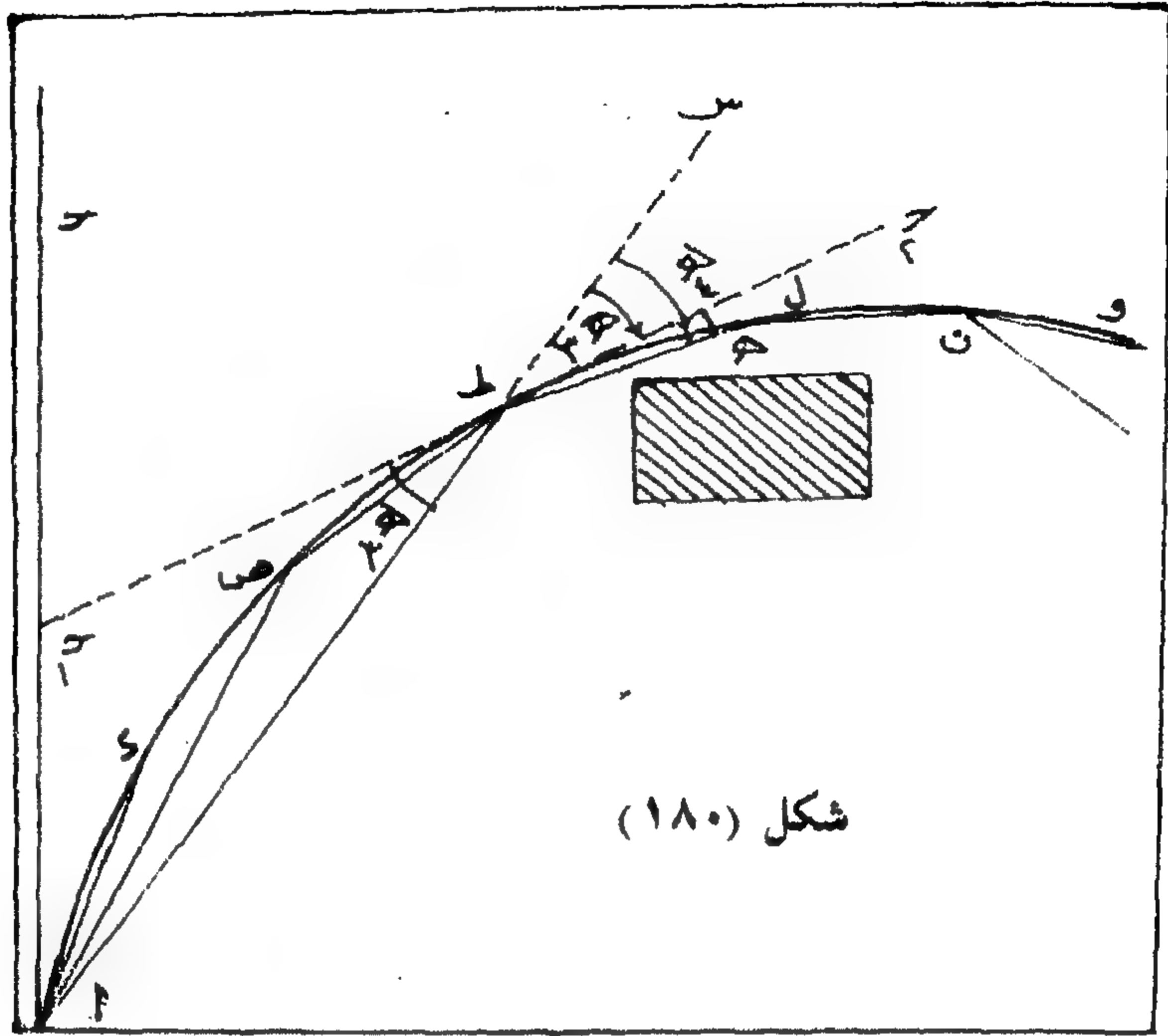
١ - فى شكل ( ١٨٠ ) وقعت النقط حتى نقطة  $ط$  بزوايا الانحراف ، ولكن عند توقيع  $ل$  وجد أن خط النظر  $ال$  قد اعترضه عائق .

٢ - نقل الجهاز إلى النقطة  $ط$  ( آخر نقطة سبق تعيينها ) فإذا جعلنا التيودوليت موجهاً إلى  $أ$  . ثم ندير التيودوليت  $هـ$  فيصبح خط النظر مماساً للمنحنى عند  $ط$  .

٣ - بعد ذلك ندير المنظار  $١٨٠^\circ$  حول محوره الأفقى ثم نجعله يضيف  $هـ$  إلى الزاوية السابقة فيكون موجهاً نحو النقطة  $ك$  ونقيس فى إتجاه خط النظر مسافة الوتر المعلوم ( ٢٠ متر مثلاً ) فنحصل على موقع نقطة  $ل$  .

٤ - نستمر فى توقيع المنحنى كالمعتاد من نقطة  $ط$  ، وإذا لم يمكن تكملة المنحنى تنتقل إلى  $هـ$  .





٥ — نرصد أى نقطة على المنحنى أو آخر نقطة احتلت بالجهاز مع ضبط  
الورنية على زاوية انحراف هذه النقطة فمثلاً إذا كنا سنوجه إلى ط فإن زاوية  
الانحراف = هـ = ٣ .

٦ — نقلب المنظار ونحرك الورنية على المقياس حتى تضيف هـ ونستمر .

٧ — تمتاز هذه الطريقة بأن الزوايا المحسوبة للانحراف من نقطة التماس  
الأولى تستعمل فى توقيع كل النقط مهما كان موقع الجهاز ، وبذا توفر علينا  
العمل الحسابى . وعند تكملة العمل برصدت نقطة التماس الثانية من آخر  
موقع بالجهاز فإن الدائرة الأفقية للجهاز يجب أن تقرأ زاوية مقدارها هـ .  
٢



## تطبيقات على المنحنيات البسيطة

أولاً - إيجاد نصف قطر منحنى بسيط يمر بثلاثة خطوط معلومة :

١ - نفرض في شكل ( ١٨١ ) أن  $a_1$  ،  $s$  ،  $v$  ،  $e$  ،  $s$  ،  $a_2$  ثلاثة خطوط مستقيمة ، يراد إيصالها بمنحنى بسيط يمر بالثلاث مستقيمات في ثلاث نقط مثل  $a_1$  ،  $l$  ،  $a_2$  على الترتيب :

٢ - الخط  $ص$   $ع = ف_1 + ف_2$

$ع ص = س$  ،  $س ع = ص$  ،  $ص س = ع$

$\therefore س = ف_1 + ف_2$

وحيث أن المماسين الجزئيين  $s_1$  ،  $s_2$  متساويان .

$\therefore ع + ف_1 = ص + ف_2$

ولكن  $s_1 = s_2$  ظلنا  $\frac{h}{2}$

$\therefore (ع + ف_1) \cdot \frac{h}{2} = (ص + ف_2) \cdot \frac{h}{2}$

$\therefore ٢ = \frac{h}{2} (ف_1 + ف_2 + ص + ع)$

$= \frac{h}{2} (س + ص + ع)$

ومنها  $\frac{1}{2} (س + ص + ع) \cdot \frac{h}{2} =$

..... (١٢٠)

$س = ح \cdot \frac{h}{2}$







ويمكن كذلك اثبات أن نصف القطر يكون مساويا .

(١٢٢) .....

$$\text{مساحة المثلث س ص ع} \\ \text{ح - س}$$

وغالبا ما تكون النقط س ، ص ، ع معطاه بأحداثياتها ومن ثم يمكن الحصول على جميع المقادير التي يمكن منها إيجاد نصف القطر بأحد الحلول الثلاثة المذكورة .

مثال - ثلاث نقاط أ ، ب ، ح أحداثياتها على التوالى هي :

النقطة	الأحداثى الأفقى	الأحداثى الرأسى
أ	١٢٦٣,١٣ +	١٥٧٣,١٢ +
ب	٩٢٣,٤٧ +	٥٨٧,٤٥ +
ح	١٦٣٩,٢٨ +	٧٢٢,٨٧ +

وصل الخطان أ ب ، أ ح ومدا على استقامتهما والمطلوب تعيين نصف قطر المنحنى الدائرى البسيط الذى يمر المستقيم ب ح وامتداد كل من أ ح ، ب .

الحل :

$$\text{انحراف أ ب} = \frac{١٢٦٣,١٣ - ٩٢٣,٤٧}{١٥٧٣,١٢ - ٥٨٧,٤٥}$$

$$= ٥٠ " ٠٠ ' ٥١٩ غ$$

$$= ٥٠ " ٠٠ ' ٥١٩٩$$

$$\text{طول أ ب} = ١٠٤٢,٥٥$$



وبالمثل انحراف  $\alpha = 52'' 51' 5023''$

$$= 0156.8'' 0.8' =$$

طول  $\alpha = 929,74$

انحراف  $\beta = 14'' 17' 5079''$

$$= 14'' 17' 5079''$$

طول  $\beta = 728,51$

زاوية التقاطع للمنحنى المطلوب هـ

$$= 180^\circ - (50'' 00' 019'' + 52'' 51' 5023'')$$

$$= 18'' 07' 0137''$$

لايجاد نصف القطر نطبق العلاقة

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} (\bar{\alpha} + \bar{\beta} + \bar{\gamma}) \text{ ظنا هـ}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} (929,74 + 728,51 + 1042,55) \text{ ظنا هـ}$$

$$\frac{1}{2} = 530,2$$

وبتطبيق العلاقة :

$$\frac{\bar{\alpha}}{\frac{1}{2} \text{ ظا هـ} + \frac{1}{2} \text{ ظا هـ}} = \frac{\bar{\beta}}{\frac{1}{2} \text{ ظا هـ} + \frac{1}{2} \text{ ظا هـ}}$$

حيث هـ<sub>1</sub>، هـ<sub>2</sub> الزاوية عند  $\alpha$ ،  $\beta$  على الترتيب .

$$\text{زاوية } \hat{\alpha} = 14'' 17' 5079'' - 50'' 00' 019'' = 24'' 16' 060''$$

$$\text{زاوية } \hat{\beta} = 08'' 08' 0336'' - 14'' 17' 5079'' = 54'' 50' 076''$$



وللتحقيق زاوية ب + زاوية ح = ١٨ " ٠٧ ' ٥١٣٧ = د

$$\frac{٧٢٨,٥١}{\text{ظا } ١٢ " ٨ ' ٥٣٠ + \text{ظا } ٢٧ " ٢٥ ' ٥٣٨} = \text{س}$$

$$٥٣٠,٢٠ =$$

وبتطبيق العلاقة :

$$\frac{\text{مساحة المثلث ا ب ح}}{\text{ح - ا}} = \text{س}$$

$$\frac{\sqrt{\text{ح} (\text{ح - ا}) (\text{ح - ب}) (\text{ح - ج})}}{\text{ح - ا}} = \text{س}$$

$$\frac{\sqrt{(٩٢٩,٧٤ - ١٣٥٠,٤) (٧٢٨,٥١ - ١٣٥٠,٤) ١٣٥٠,٤}}{٧٢١,٥١ - ١٣٥٠,٤} =$$

$$٥٣٠,٢٠ = \frac{(١٠٤٢,٥٤ - ١٣٥٠,٤)}{}$$

ثانياً — إيجاد نصف قطر منحنى بسيط يمر بثلاث نقط معلومة :

نفرض في شكل ( ١٨٢ ) أن ا ، ب ، ح ثلاث نقط ليست على استقامة واحدة ويراد تعيين نصف قطر المنحنى الدائرى البسيط الذى يمر بالنقط الثلاثة .

الزاوية الخارجية ح م ا = ب

الزاوية س م ح = ١٨٠ - ب

الوتر ا ح = ب ٢ جا ( ١٨٠ - ب )

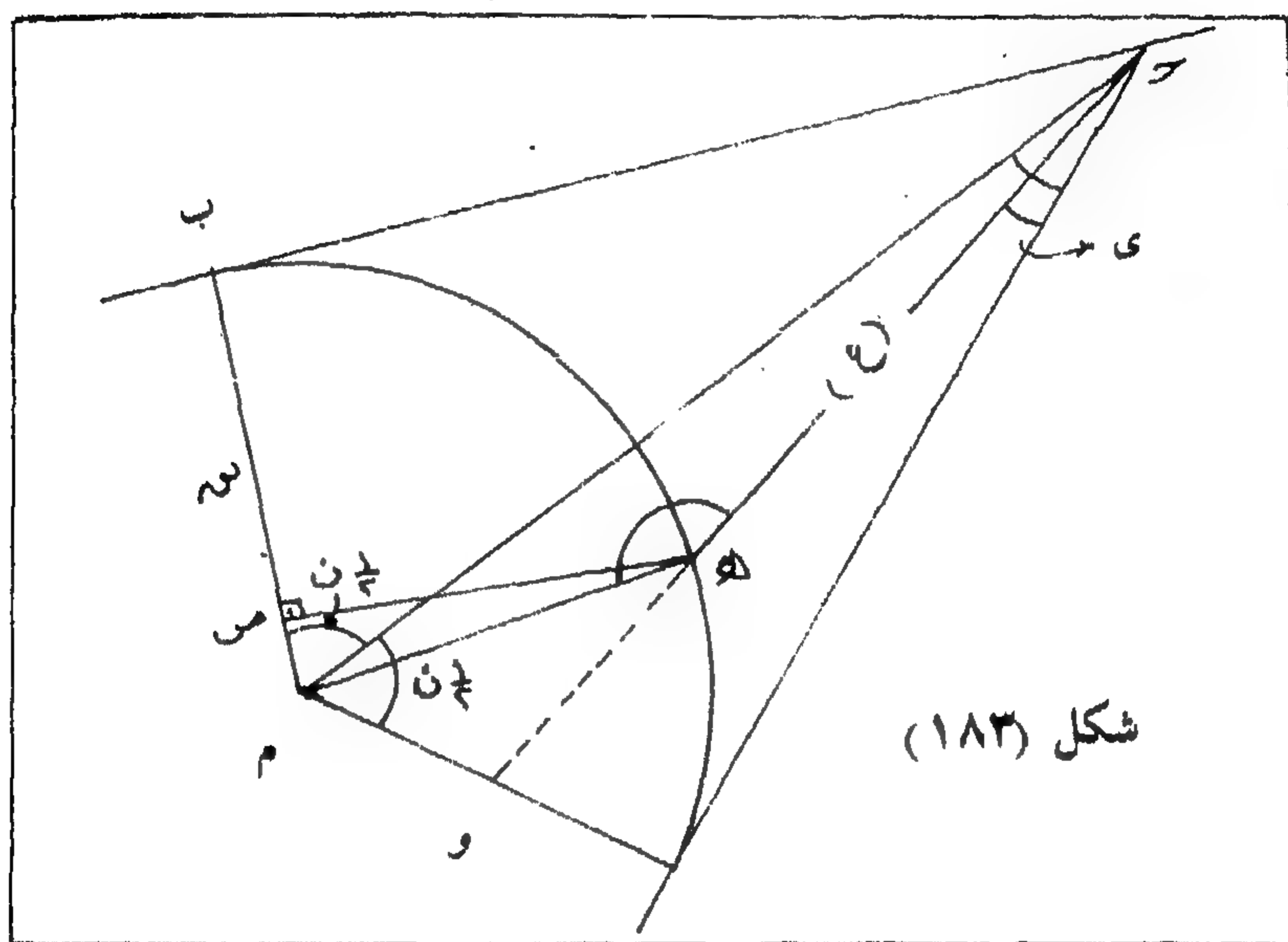
$$\frac{\text{ا ح}}{\text{جا ب}} = \text{ب ٢}$$







١ - نفرض في شكل ( ١٨٣ ) أن  $ا ح$  ،  $ب ح$  خطان مستقيمان ، يراد إيصالهما بمنحنى بسيط يمر بنقطة  $هـ$  المعلوم بعدها (  $ع$  ) عن  $ح$  ، الزاوية  $هـ ح ا = ي$  .



٢ - الزاوية  $م ح ا = ٩٠ - \frac{ا}{٢}$  ، الزاوية  $م ح هـ = ٩٠ - \frac{هـ}{٢} - ي$

$$\frac{س}{\text{جتا } \frac{ا}{٢}} = م ح$$

في المثلث  $م ح هـ$  :

$$\frac{١}{\text{جتا } \frac{ا}{٢}} = \frac{م ح}{س} = \frac{م ح}{م هـ} = \frac{\text{جا } م هـ ح}{\text{جا } م ح هـ}$$



$$\frac{\text{جام ح} \cdot \text{ه}}{\text{جتا } \frac{1}{2}} = \dots$$

$$\text{ح م ه} = ٥١٨٠ - (\text{م ه} \cdot \text{ح} + \text{م ح} \cdot \text{ه})$$

وباستعمال قانون الجيب مرة أخرى :

$$\text{م ه} = \text{ص} = \frac{\text{جام ح} \cdot \text{ه}}{\text{جا ح م ه}} \times \text{ع}$$

وأحياناً تكون الزاوية ح م ه صغيرة جداً مما ينتج عنه خطأ كبير في إيجاد نصف القطر ، وفي هذه الحالة يحسن اتباع الحل التالى :

بعد إيجاد الزاوية ح م ه كما سبق :

$$\text{ب ص} = \text{ص} ( ١ - \text{جتا م ه} )$$

$$\text{ع} = \text{جا ح ه} \cdot \text{ص} = \text{ع جا ( ه + ي )}$$

(١٢٤) .....

$$\frac{\text{ع جا ( ه + ي )}}{١ - \text{جتا ( } \frac{1}{2} \text{ ح م ه )}} = \text{ص}$$

وهناك مسألة كثيراً ما نصادفها في تخطيط الشوارع ، وهى عكس ما سبق ، وذلك لإيجاد مكان تقاطع طريق مستقيم مع آخر منحني فيكون معلوم لدينا الزاوية ا ح ه ، ونصف القطر والمطلوب إيجاد المسافة ح ه . وهذه يمكن إيجادها من المعادلة السابقة .

ب — النقطة المعلومة باحداثيين احدهما فى اتجاه أحد المماسين والآخر عمودى عليه .



١ - نعتبر نقطة تقاطع المماسين كنقطة الأصل ، ففي شكل ( ١٨٤ )  
أحداثيات النقطة المعلومة ه هي س ، ص .

٢ - نأخذ ه ، متماثلة مع ه ، ونصل ه ه ، ونمده من طرفيه ليقطع  
المماسين في و ، و . ولإيجاد ه نتبع الخطوات التالية :

$$٣ - وه = ص / جا \frac{١}{٢} ه ، ول = ص ظا \frac{١}{٢} ه$$

$$ح = و = س + ول$$

$$وك = ح = و جتا \frac{١}{٢} ه ، وه = ٢ = وك - وه$$

$$او = \sqrt{وه} ، وه = ف = ح = و + او ، و = ف ظتا \frac{١}{٢} ه ويمكن$$

أيضاً إثبات أن :

$$..... (١٢٥) \quad و = (ص ظتا \frac{١}{٢} ه + س \pm وا) ظتا \frac{١}{٢} ه$$

ح - النقطة المعلومة باحداثيين (محور السينات هو الخط الواصل بين  
نقطة التقاطع والمركز ونقطة التقاطع هي نقطة الأصل ) :

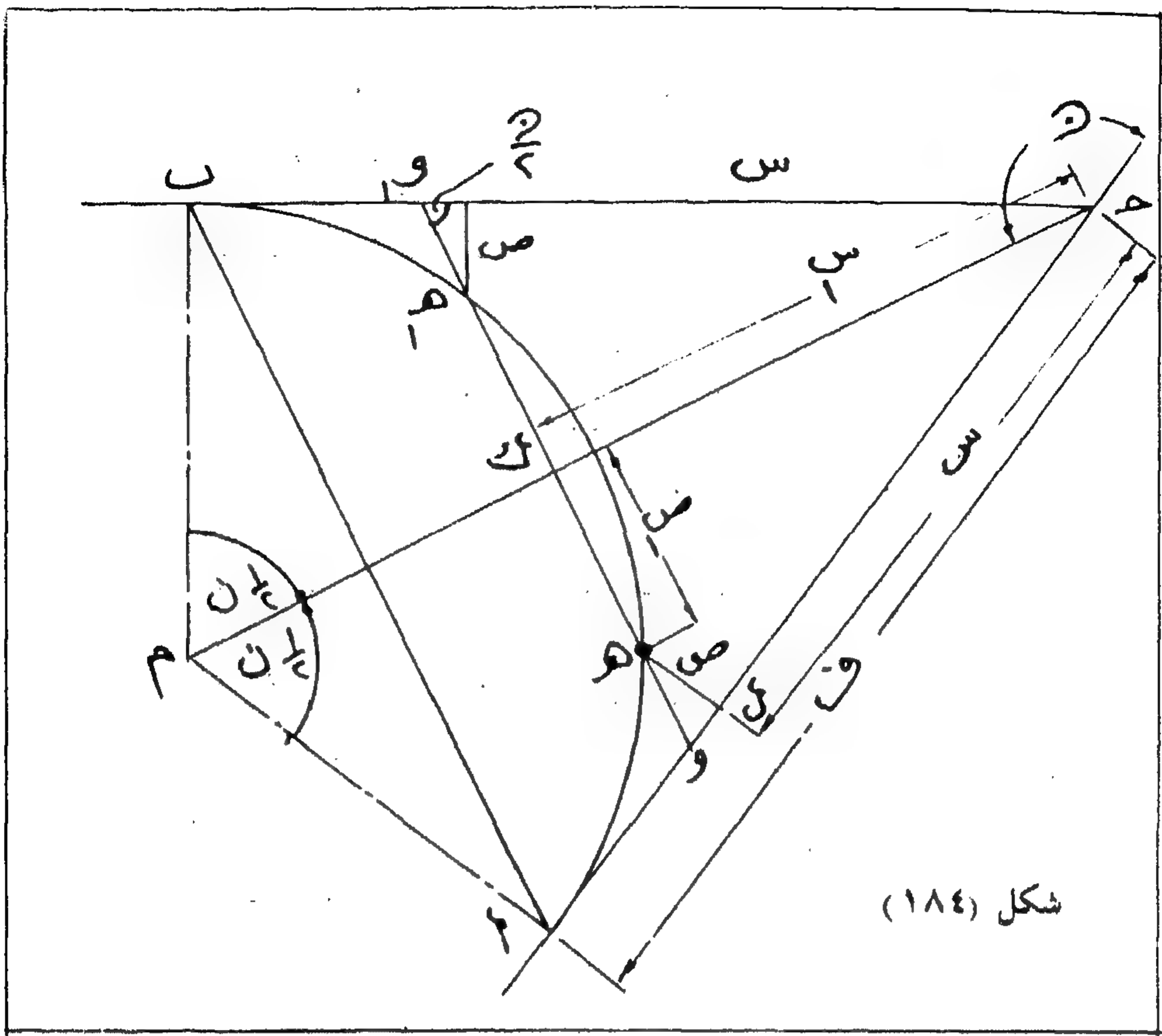
١ - في شكل ( ١٨٤ ) إحداثيات النقطة ه هي س ، ص .

$$٢ - \frac{١}{ح} = \frac{٢}{م} جتا \frac{١}{٢} ه$$

$$ولكن م ك = \sqrt{ص^٢ - و^٢}$$

$$\therefore م ح = م ك + ك ح = \sqrt{ص^٢ - و^٢} + و$$





$$\therefore \frac{م^۱}{ح م} = \frac{س}{س + \frac{۱}{۲}(ص^۲ - س^۲)} = \frac{۱}{۲} \text{ جتا } \frac{۱}{ه}$$

$$س \text{ قاه} - س = \sqrt{ص^۲ - س^۲} = \frac{۱}{۲} \text{ جتا } \frac{۱}{ه}$$

$$\frac{س \text{ قاه} \frac{۱}{ه} + \sqrt{ص^۲ - س^۲} (1 - \frac{۱}{ه})}{1 - \frac{۱}{ه}} = س \quad \dots \dots (۱۲۶)$$



في هذه المعادلة إذا كانت  $\frac{1}{2}h$  ،  $s$  ،  $v$  معلومة ، فإنه يمكن حساب

نصف القطر ، وإذا كانت  $v$  = صفر فإن النقطة تكون هي قمة المنحنى ويؤول نصف القطر إلى :

$$(127) \dots \frac{s \text{ جتا } \frac{1}{2}h}{2} = \frac{s_1}{1 - \frac{1}{2}h} = v$$

رابعاً - تعيين المساحة المشتركة بين طريقين :

كثيراً ما يتطلب الأمر إيجاد المساحة المشتركة بين طريقين متقاطعين ، أحدهما مستقيم والآخر دائري أو الأثنين دائريين ، وتوجد لذلك عدة حالات سنبين بعضها فيما يلي :

أ - تقاطع طريق مستقيم مع آخر دائري :

١ - في شكل ( ١٨٥ ) نصف قطر محور الطريق =  $v$

وعرض كل من الطريقين =  $e$

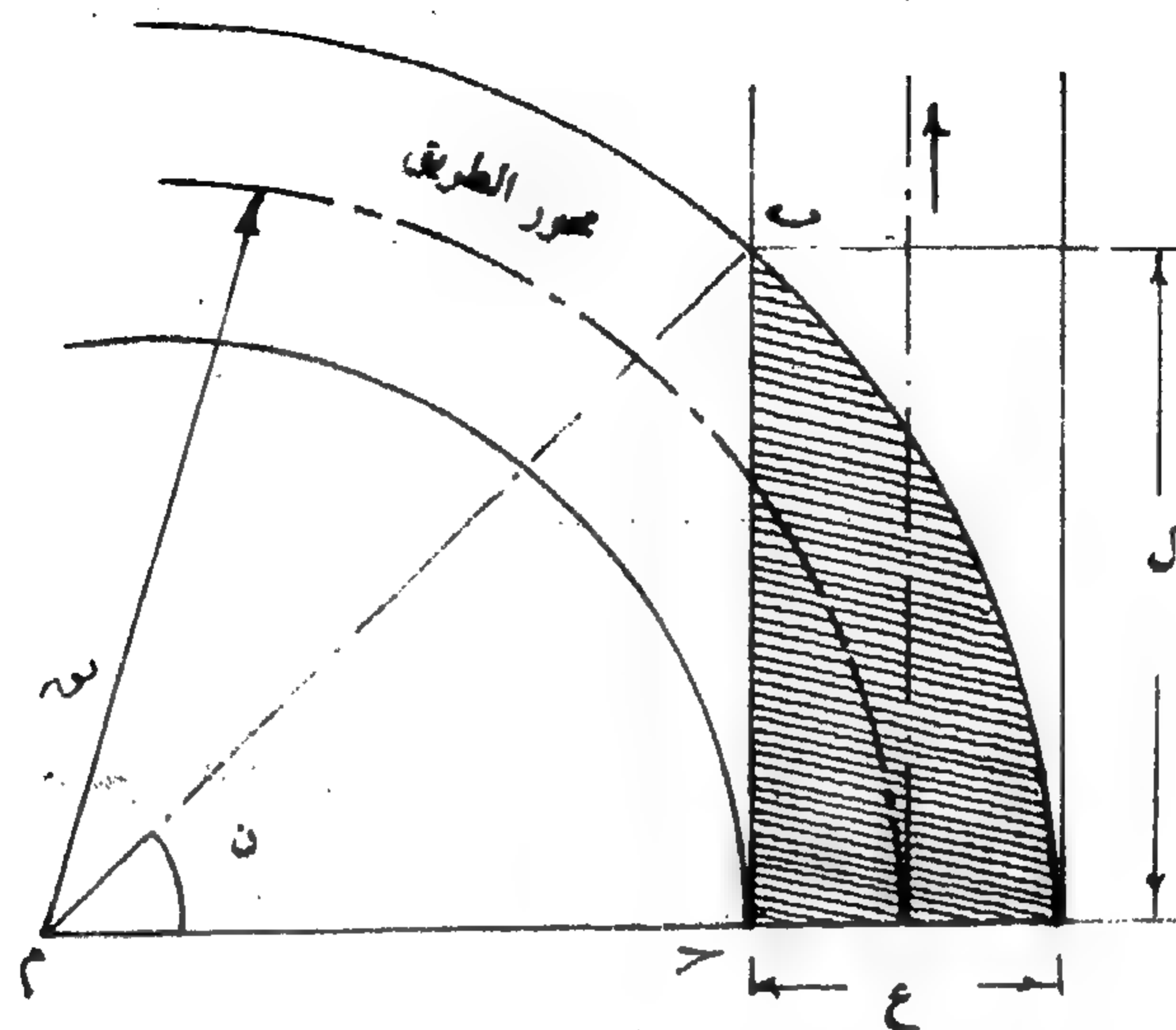
٢ -  $b = c = l = (v + \frac{1}{2}e)$  جا  $h$

$$= \sqrt{(v + \frac{1}{2}e)^2 + (\frac{1}{2}e - v)^2}$$

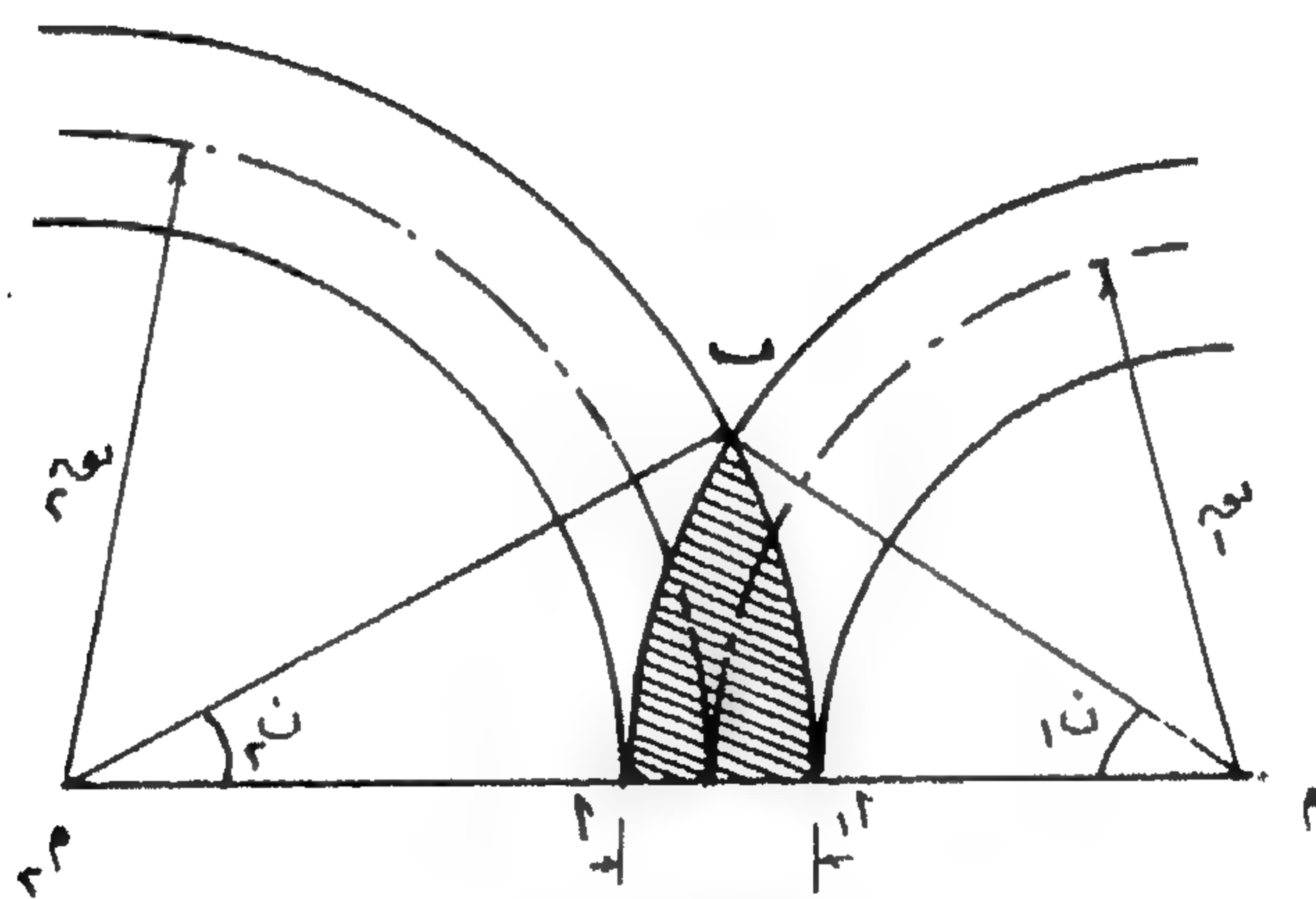
٣ - مساحة القطاع  $a$  م  $b = ط (v + \frac{1}{2}e)^2 \cdot \frac{h}{5360}$

$$= \frac{1}{2} \times 0.01745 \times (v + \frac{1}{2}e)^2 \cdot h$$





شكل (١٨٥)



شكل (١٨٦)



حيث ه بالدرجات

$$\text{مساحة المثلث ح م} = \frac{1}{2} \text{ ل ( ه - } \frac{1}{2} \text{ ع )}$$

$$\text{المساحة المشتركة} = ٥٠,٠١٧٤٥ \times \frac{1}{2} \text{ ( ه + } \frac{1}{2} \text{ ع )} - \frac{1}{2} \text{ ل ( ه - } \frac{1}{2} \text{ ع )}$$

(١٢٨) .....

ب - تقاطع طريقين دائريين يقع مراكزهما على جانبي المساحة المشتركة :  
نفرض في شكل ( ١٨٦ ) أن نصفى قطرى المحورين هما  $\text{م}_١ \text{ م}_٢$  ،  
المثلث م<sub>١</sub> ب م<sub>٢</sub> أضلاعه الثلاثة معلومة .

$$\text{م}_١ \text{ ب} = \text{م}_١ \text{ م}_٢ + \frac{1}{2} \text{ ع}$$

$$\text{م}_٢ \text{ ب} = \text{م}_١ \text{ م}_٢ + \frac{1}{2} \text{ ع}$$

$$\text{م}_١ \text{ م}_٢ = \text{م}_١ \text{ م}_٢ + \frac{1}{2} \text{ ع}$$

$$\text{جتاب م}_١ \text{ م}_٢ = \text{جتاب م}_١ \text{ م}_٢ = \frac{1}{2} \text{ ع}$$

$$\frac{(\text{م}_١ \text{ م}_٢) + (\text{م}_١ \text{ م}_٢) - (\text{م}_١ \text{ م}_٢)}{(\text{م}_١ \text{ م}_٢) (\text{م}_١ \text{ م}_٢)} =$$

وبإيجاد قيمة الزاوية ب م<sub>١</sub> م<sub>٢</sub> نوجد الزاوية ب م<sub>١</sub> م<sub>٢</sub> كما يلي :

$$\text{جواب م}_١ \text{ م}_٢ = \text{جواب م}_١ \text{ م}_٢ = \frac{(\text{م}_١ \text{ م}_٢) (\text{م}_١ \text{ م}_٢)}{\text{م}_١ \text{ م}_٢}$$

$$\text{م}_١ \text{ م}_٢ = ١٨٠^\circ - (\text{م}_١ \text{ م}_٢ + \text{م}_١ \text{ م}_٢)$$



مساحة الجزء المظلل = مساحة القطاع م<sub>١</sub> ب<sub>١</sub> أ + مساحة القطاع م<sub>٢</sub> أ ب<sub>٢</sub> -  
مساحة المثلث م<sub>١</sub> م<sub>٢</sub> ب

$$\text{مساحة القطاعين} = \frac{1}{2} \times 0,01745 \times (0,5 + \frac{1}{2} \times 0,5^2) =$$

$$+ \frac{1}{2} \times 0,01745 \times (0,5 + \frac{1}{2} \times 0,5^2) =$$

حده ١، ٥، ٢ مقدرة بالدرجات .

$$\frac{(0,5 - 0,5^2) \times 0,01745}{2} = \text{مساحة المثلث م<sub>١</sub> م<sub>٢</sub> ب}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,01745 \times (0,5 + \frac{1}{2} \times 0,5^2) =$$

$$\begin{aligned} & \text{مساحة الجزء المشترك بين الطريقتين الدائريتين} = \\ & \frac{1}{2} \times 0,01745 \times (0,5 + \frac{1}{2} \times 0,5^2) + \frac{1}{2} \times 0,01745 \times (0,5 + \frac{1}{2} \times 0,5^2) \\ & - \frac{1}{2} \times 0,01745 \times (0,5 + \frac{1}{2} \times 0,5^2) = \end{aligned}$$

..... (١٢٩)

خامساً - توقيع محاور دعامات كوبرى تقع على منحني بالرصد من الشاطئين

الحالة الأولى : نقطتا التماس تقعان على الشاطئين :

وبذا فإن جميع الدعامات ( وبالتالي كل الكوبرى ) تقع على المنحني . في هذه الحالة المعلومات الأولية هي :



- ١ — نصف قطر المنحنى .
- ٢ — التدرج حتى وجه أول دعامة .
- ٣ — الزاوية التى يعملها المماس مع وجه أول دعامة عند نقطة التقاطع .
- ٤ — أطوال البحور ( span ) .
- ٥ — المسافة بين الدعامات .
- ٦ — تدرج مركز كل دعامة .

وهذه الكميات كما يلى :

فى شكل ( ١٨٧ ) ا ب ح د ، هـ ط يمثلان محورين متوازيين لدعامتين تقعان على منحنى نصف قطره  $r$  .

نفرض أن  $h_1$  ،  $h_2$  هما الزاويتان المحصورتان بين المحورين والمماسين عند ب ، د على الترتيب .

ف = المسافة العمودية بين المحورين .

و = طول الوتر هـ ب = طول البحر

والآن معطى  $r$  ،  $h_1$  ، وتدرج ب ، والمطلوب إيجاد  $h_2$  ، وتدرج هـ الزاوية المركزية ب م هـ =  $h_2 - h_1$  .

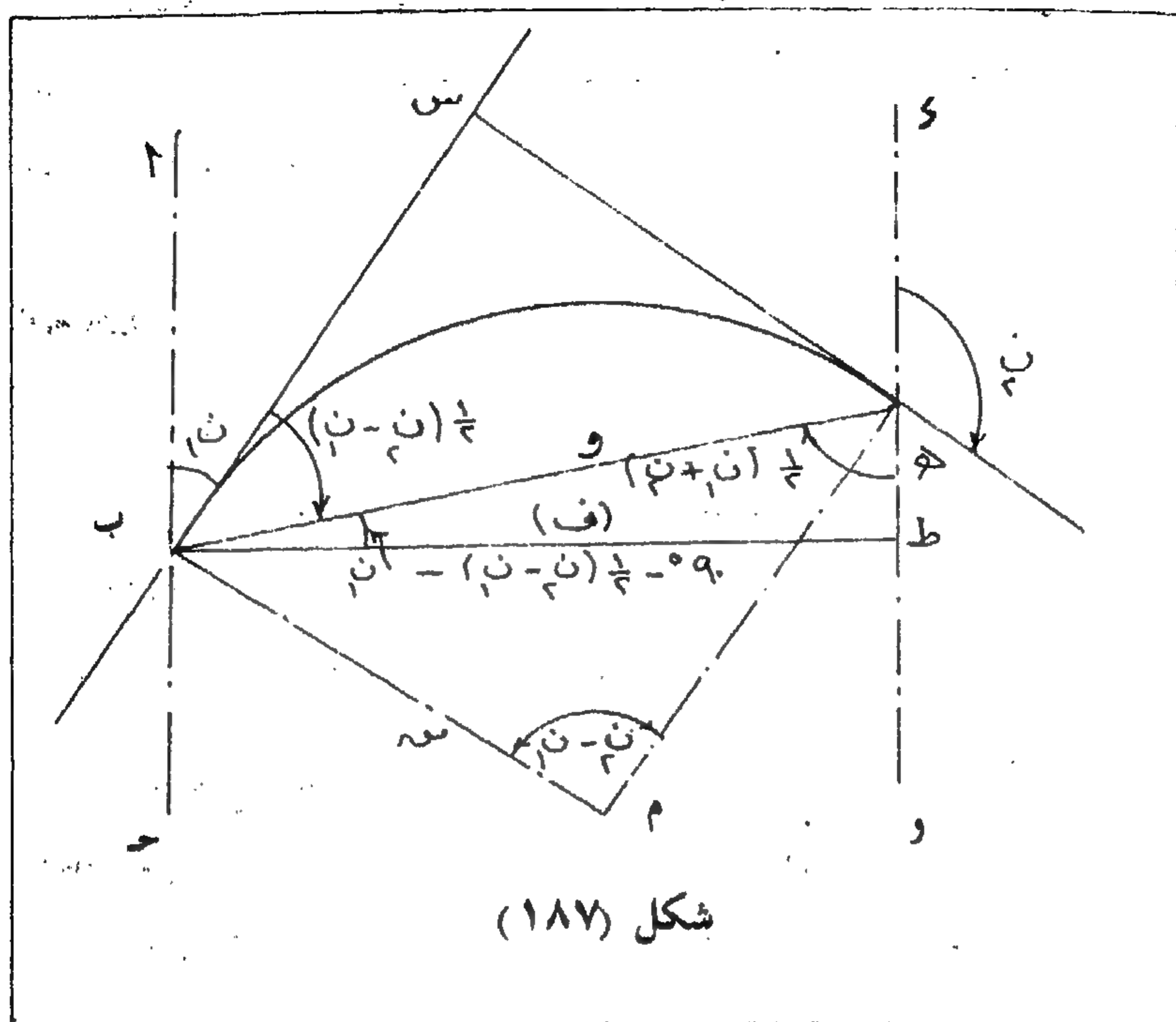
$$و = ٢ r \sin \frac{1}{2} (h_2 - h_1)$$

$$\text{ولكن } ب هـ ط = \frac{1}{2} (h_2 - h_1)$$

$$\therefore و = ف \sin \frac{1}{2} (h_2 + h_1)$$

وبمساواة قيمتى ( و ) ينتج أن :





$$f = 2 \text{ جا } \frac{1}{2} (d_1 - d_2) \text{ جا } \frac{1}{2} (d_1 + d_2)$$

$$= ( \text{جناہ } 1 - \text{جناہ } 2 )$$

(۱۳۰) . . . . .

ومن ثم يمكن إيجاده ، وهو المطلوب أولاً ....

تدریج ه = تدریج ب + طول القوس ب ه

$$= \text{تدریج ب} + \frac{ط (۱۵ - ۲۵)}{۱۸۰}$$

وإذا كان  $ab$  لا يوازي  $cd$  فإن المسافة  $f$  تكون غير موجودة .



ويستعاض عنها بالقيمة  $و$  ، وبعد حساب  $هـ$  ، على فرض أن المحورين متوازيان يجب أخذ الزاوية بين المحورين في الاعتبار ، بإضافتها أو طرحها ، حسب الحالة ، على  $هـ$  .

### التخطيط :

١ — في شكل ( ١٨٨ ) حيث أنه لا يمكن الوصول إلى نقطة تقاطع المماسين  $ح$  فنوقع نقطتي  $ا$  ،  $ب$  بأن نوجد طول مثل  $هـ$  و بقياس خط قاعدة على الشاطئ مثل  $و$  ، ورصد زاويتين منه أو كل زاويا المثلث  $هـ$  و  $و$  وحل المثلث ثم يكمل العمل بأن نعين موقع النقطتين  $ا$  ،  $ب$  كما سبق .

٢ — نوقع النقط المطلوبة بواسطة تيودوليتين عند كلا من  $ا$  ،  $ب$  . فلتوقع نقطة على المحور مثل  $ص$  ، تحسب زاويتا انحرافها  $ا$   $ص$  ،  $ب$   $ص$  بعد إيجاد طول كل من القوسين  $ا$   $ص$  ،  $ب$   $ص$  كما سبق آنفاً .

٣ — بنفس الأسس نوقع نقط أخرى مثل  $ع$  بعد حساب الزاويتين  $ا$   $ع$  ،  $ب$   $ع$  .

$$ا$$
  $ع = ا$   $ص + ب$   $ص$   $ع$

حيث  $ا$   $ص$  معلومة أما  $ا$   $ع$  فيمكن إيجادها من حل المثلث  $ا$   $ص$   $ع$  حيث فيه  $ص$   $ع$  معلوم .  $ا$   $ص$  وترفرس معلوم ، وزاوية  $ا$   $ص$   $ع = هـ$  —  $و$  .

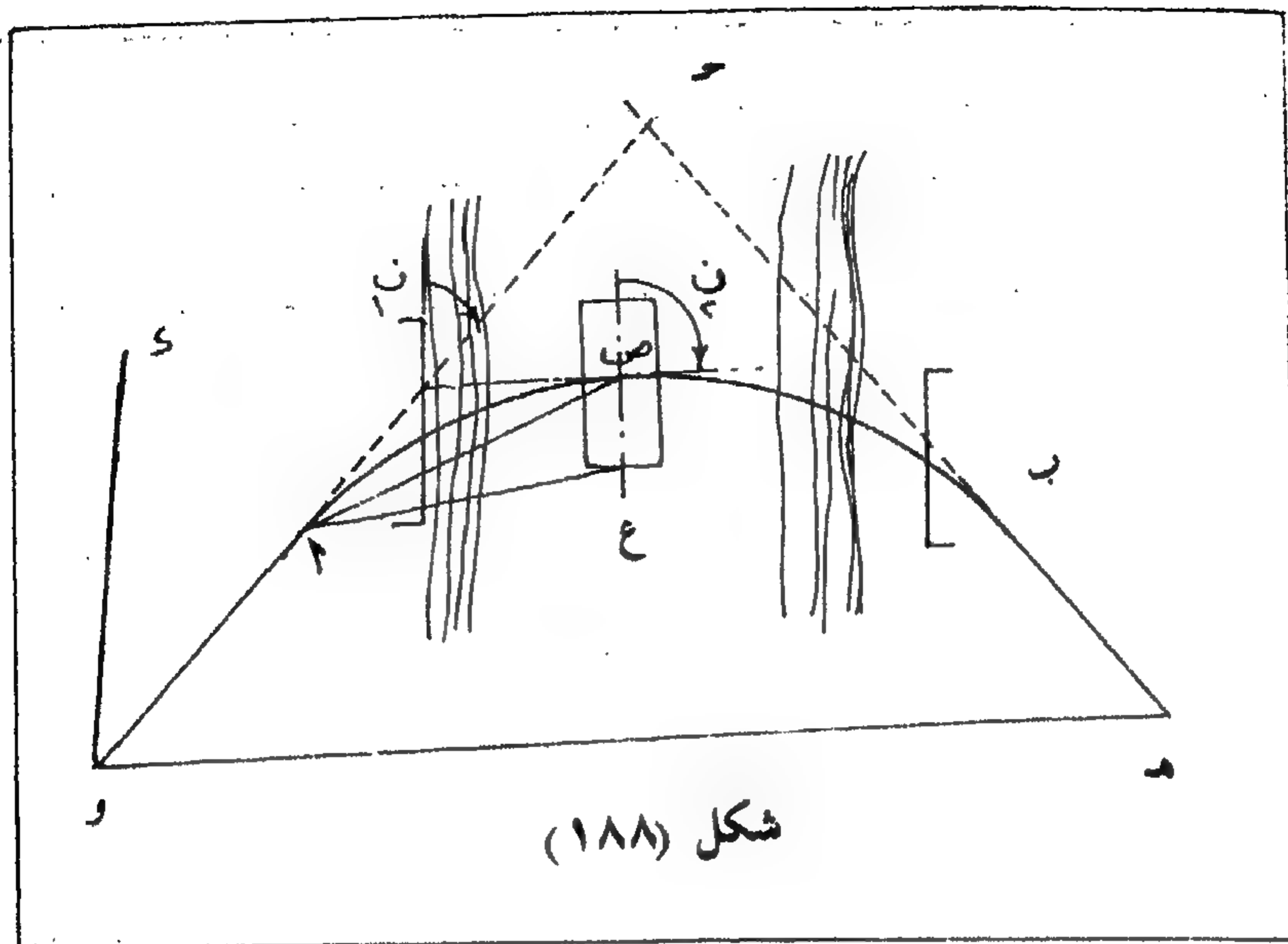
ويمكن توقيع أى نقطة بنفس هذه الطريقة طالما أن موضعها محدد بالنسبة لنقطة معلوم تدريجها على المحور .

الحالة الثانية — نقطتا التماس تقعان في النهر :

وبذا فإن بعض الدعامات فقط تقع على المنحنى .

إن الاختلاف الوحيد في المعلومات الأولية عن الحالة الأولى ، هو أن زاوية





الدعامة الأولى تقاس من المماس الأصلي وليس من المماس عند النقطة على المنحني .

في شكل ( ١٨٩ ) ا ب ح ، د ه و يمثلان المحورين المتوازيين لدعامتين  
وبحيث أن نقطة التماس الأولى ( ب ) تقع بينهما .

نفرض أن المعلوم هو  $\alpha$  ، ف  $\beta$  ، و  $\gamma$  وتدرج ب ، ب<sub>١</sub>  
والمطلوب قيمة  $\delta$  و تدرج نقطة هـ .

۱ - فرسم من ب الخط ا ب ح یوازی ا ب ح .

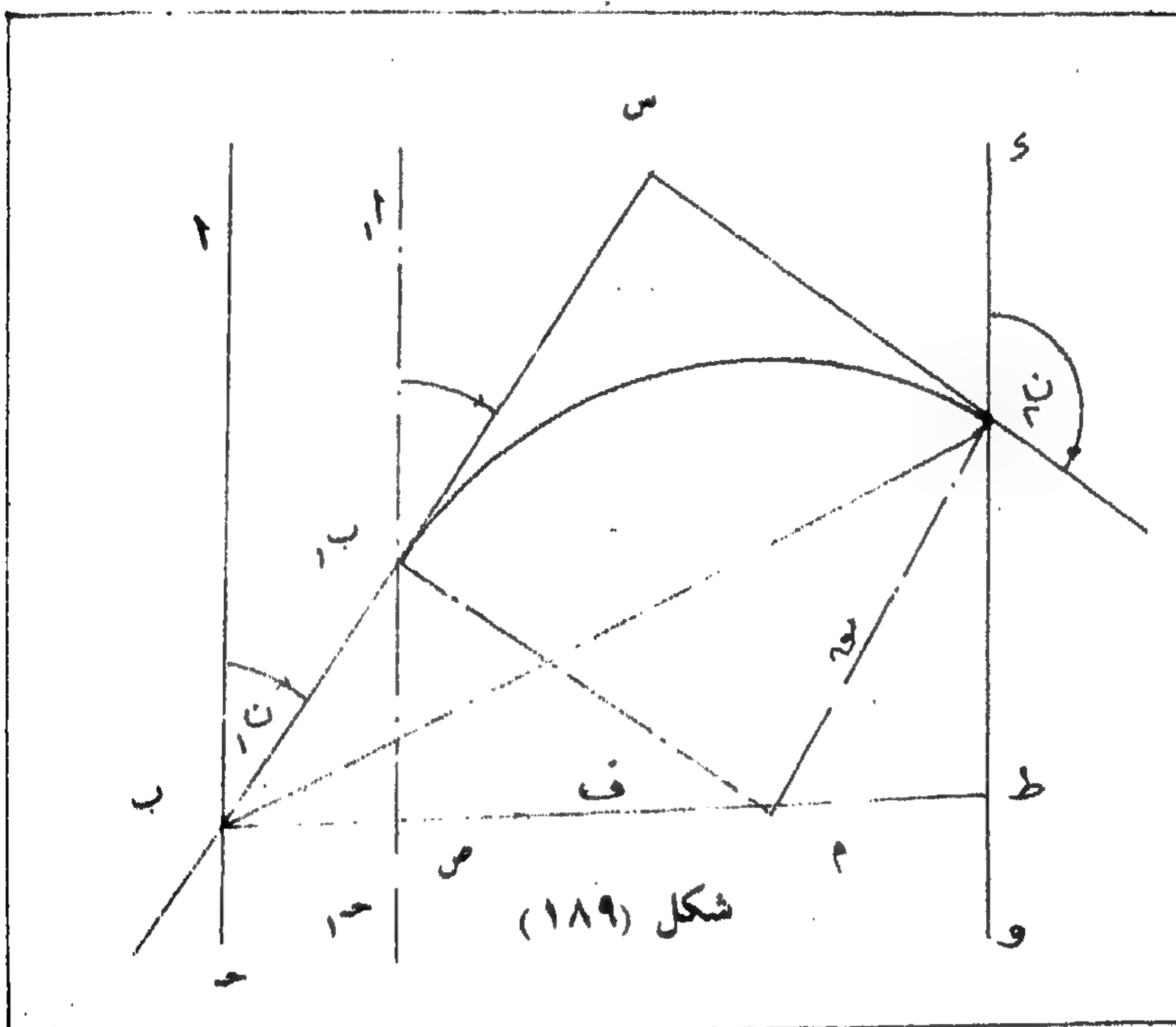
الزاوية أ ب س = ٥٠

٢ — نطبق نفس الطرق السابقة على الخطين  $a, b, c, d, e$  وحيث  
 البعد العمودى بينهما  $ص ط = (ط - ب - ص) = ف - ب - ب$   $a, b, c, d, e$   
 ومقابل النتائج السابقة .



$$(131) \dots \boxed{\mu = (\text{جناح } 1 - \text{جناح } 2) = (\text{ف - ب } 1, \text{ جاح } 1)} \dots$$

وهذه تقابل المعادلة السابقة ، تدريج ه = تدريج ( ب ) + ب 1 + ط  
 ( ه 2 - ه 1 ) \mu .





## مسائل

١ — منحني دائري يصل بين  $A$  ،  $B$  ،  $C$  ، يتجه يساراً من  $A$  إلى  $B$  .  
فإذا كانت درجة المنحني  $٤٥^\circ$  وتدرج نقطة  $C$  هو  $٧٥,٨٤$  جنزيراً .  
الزاوية الداخلية  $A$   $C$   $B = ٤٠^\circ$  . أوجد :

أولاً — تدرج نقطة منتصف المنحني .

ثانياً — إحداثيات نقطة قمة المنحني إذا وقعت من المماس  $A$   $C$  .

ثالثاً — زاوية انحراف النقطة الثالثة على المنحني .

٢ — منحني دائري درجته  $٣,٨٢^\circ$  وتدرج نقطة بدايته  $٣٢٠,٣٤$  ،  
ونهايته هو  $٣٣٩,٧٥$  . أوجد زاوية التقاطع . وإذا زادت زاوية التقاطع بإدارة  
المماس الثاني حول نقطة التقاطع أربع درجات . أوجد تدرج نقط التماس  
الجديدة للمنحني .

٣ — منحني نصف قطره  $٦٠$  جنزيراً يصل بين مماسين الفرق بين انحرافيهما  
 $١٨^\circ$  ، يراد تغيير التخطيط بإدخال جزء مستقيم طوله  $٦$  جنازير بين المماسين  
ويتوسط المسافة بينهما تماماً ثم إيصال هذا الجزء المستقيم بمنحنيين مع المماسين  
بنصفي قطرين متساويين . فإذا كانت نقطة التماس الأصلية ستظل كما هي في  
مكانها ، أحسب نصف قطري المنحنيين المطلوبين وأقصى بعد بين المنحني  
الأصلي والمنحني المعدل .

٤ — الزاوية الداخلية  $A$   $B$   $C$  بين مماسين تساوي  $١٣٠^\circ$  ويراد إيصالهما  
بمنحني دائري يمر بنقطة  $D$  التي تبعد عمودياً عن  $A$   $B$  ( المماس ) بمقدار  
 $D = ٢٩$  متراً والمسافة  $B$   $D = ٤٠٠$  متراً . أوجد نصف القطر . وإذا كان  
تدرج نقطة التقاطع  $١٥٧,٤٥$  جنزيراً أوجد تدرج نهاية المنحني .

٥ — خط سكة حديد نصف قطره  $٨٠٠$  متر وتدرج نقطة  $C$  نقطة  
التقاطع هو  $٤٨,١٧$  فإذا أريد إنشاء خط سكة حديد آخر يمر بنقطة  $D$  التي



تقع على  $A$  - ويمر كذلك مماس المنحنى عند النقطة مثل  $H$  المقترح إنشاء محطة عندها . وعلم أن  $E$  تبعد عن  $C$  بمقدار ١٨٠ متراً فاحسب .

أولاً : الزاوية  $C$  -  $H$  التي يقطع بها الخط الجديد المماس  $C$  -  $A$   
ثانياً : تدريج موقع المحطة المقترح .  
ثالثاً : المسافة بين نقطة تقاطع الخط الحديدي الجديد مع المماس  $C$  -  $B$  ، وبين  $B$  .

علماً بأن الزاوية الداخلية بين المماسين  $C$  -  $A$  ،  $C$  -  $B$  هي  $40^\circ 54'$  .

٦ -  $A$  - جزء من منحنى سكة حديد قيس الوتر  $A$  - فكان ١٨٠ متراً .  
أقيم من  $E$  ( نقطة على الوتر  $A$  - ) على بعد ٦٠ متر من  $A$  عمود  $E$  -  $B$  فوجد أن طوله ٢٤ متراً .  $B$  على المنحنى . فإذا كانت تدريج نقطة  $C$  -  $B$  =  $68,74$  وكان المنحنى يتجه تدريجه من اليسار إلى اليمين فأوجد :

أولاً - تدريج المنحنى عند  $A$  ، وتدرج نقطة  $B$  ، وكذلك تدريج نقطة التقاطع .

ثانياً - أحداثيات قمة المنحنى إذا أريد توقيعها من المماس عند  $A$  .

ثالثاً - زاوية انحراف النقطة الثالثة والأخيرة على المنحنى إذا اعتبرنا نقطة التماس هي أول نقطة على المنحنى .

رابعاً - طول العمود المطلوب لتوقيع ثاني وثالث وآخر نقطة لها تدريج على المنحنى إذا كان التوقيع بطريقة الشريطين ( امتداد الوتر ) .

خامساً - درجة المنحنى إلى أقرب دقيقة صحيحة . ( استعمل دائماً القوانين التقريبية في الحل ) .

٧ - ثلاث نقاط  $A$  ،  $B$  ،  $C$  أحداثياتها على التوالي هي :

النقطة	الأحداث الأفقي	الأحداث الرأسية
١	١٢٦٣ شرقاً	١٥٧٣ شمالاً



ب	٩٢٣ شرقاً	٥٨٧ شمالاً
ح	١٦٣٩ شرقاً	٧٢٣ شمالاً

وصل الخطان ا ب ، ا ح ومدا على استقامتهما والمطلوب تعيين نصف قطر المنحنى الدائرى البسيط الذى يمر المستقيم ب ح ، وامتداد كل من الخطين ا ب ، ا ح .

٨ — ثلاث نقاط ا ، ب ، ح حيث أحداثيات نقطتي ب ، ح بالنسبة لنقطة ا هي :

النقطة	الأحداثى الأفقى	الأحداثى الرأسى
ب	٤٥٠ شرقاً	٥٣٦ شمالاً
ح	١٣٣٦ شرقاً	٦٩٢ شمالاً

عين نصف قطر المنحنى الدائرى البسيط الذى يمر بالثلاث نقاط ا ، ب ، ح .

٩ — يراد تخطيط منحنى دائرى بسيط بحيث يمر بنقطة تبعد عن نقطة تقاطع المماسين بمسافة ٤٠ متراً فإذا كانت هذه النقطة تبعد بعداً متساوياً عن كل من بداية ونهاية المنحنى فما هو نصف قطر هذا المنحنى علماً بأن انحراف المماسين عن بعضهما هو ٤٠ ' ٥٤٦ .

١٠ — خطان ا ب ، ب ح انحرافهما ٣٦ ' ٥٣٦ ، ٠٠ ' ٥٨٠ على التوالى يراد إصالحهما بمنحنى دائرى بسيط بحيث يمر هذا المنحنى بنقطة ل التى تبعد ٢٧٠ متراً عن نقطة ب فى إتجاه ب ا ، ٨٨ متراً عمودياً على هذا الاتجاه — عين نصف قطرها هذا المنحنى .

١١ — طريقان س ا ب ، س ا ح ( ب ح مماس للمنحنى ) يتفرعان عند نقطة التماس ا . نصف قطر المنحنى ٤٠٠ متر وتدرج نقطة ح = ٢٤٧,٤٧ جنزيراً أوجد :



أولاً : تدرج نقطة ب على الطريق المستقيم .  
 ثانياً : زاوية انحراف أول نقطة على المنحنى بعداً وذات تدرج صحيح .  
 ثالثاً : طول الأحداث الأفقي في اتجاه ا ب والأحداث العمودي عليه لتعين  
 قمة المنحنى . ( الأحداث الأفقي من ا ) .  
 رابعاً : طول طريق ب ع الذى يصل من ب إلى ع ثالث نقطة ذات تدرج  
 صحيح على المنحنى .  
 خامساً : تدرج قمة المنحنى .

١٢ — من نقطة ا المعلومة يراد تخطيط مماس ا ب لمنحنى دائرى موجود  
 نصف قطره ٤٠ جنزيراً وهذا المنحنى هو ب ع ح . أجرى الخط ا ب ح  
 ليقطع المنحنى بحيث أن ا ب = ١٠,٢٠ جنزيراً ، ب ح = ٤,٣٢ جنزيراً  
 أحسب الزاوية ب ا ع وطول القوس ب ع .

١٣ — منحنى نصف قطره ٦٠ جنزيراً حيث ا ب هما نقطتا التماس  
 والمماسين هما ا ب ، ب ح زاوية تقاطعهما = ٢٨' ٥١٩ . يراد تعديل  
 التخطيط للمماس ب ح إلى الوضع د ه ، حيث د تقع على ب ح وتبعد  
 بمقدار ١,٥٧ جنزيراً من ب ناحية ح والزاوية ح د ه على جانب ب ح  
 البعيد من ا هي ١٦' ٥١٧٧ . فإذا احتفظنا بمقدار نصف القطر الأصلي ،  
 أوجد مسافة نقطة التماس الجديدة من ا ، ب على الترتيب .

١٤ — ا ح ، ح ب خطا سكة حديد يتقاطعان في زاوية تقاطع قدرها  
 ٤٦' ٥١٢ . وصلاً بمنحنى ا ب نصف قطره ٧٠ جنزيراً ، وتدرج نقطة  
 الابتداء هو ٤٧,٧٦ . من د على ا ح التى تبعد بمقدار ٤,٠٤ جنزيراً من ا ،  
 يراد تخطيط مماس د ه للمنحنى : أحسب (١) الزاوية ح د ب (٢) تدرج د ه  
 (٣) المسافة من نقطة تقاطع امتداد د ه مع ح ب ونقطة ب .

١٥ — قطار حرمى يمر على منحنى سكة حديد نصف قطره ٧١,٤٧  
 جنزيراً وزاوية تقاطع مماسيه ٢٨' ٥٢٨ . تربص له الفدائيون عند نقطة التقاطع  
 لأصابة القطار عند مروره على المنحنى عند نقطة متساوية البعدين عن



المماسين . على أى بعد يكون القداثيون من القطار عند مروره بهذه النقطة وإذا كان تدريج نقطة التقاطع ٧٢,٨ فما هو تدريج نهاية المنحنى .

١٦ — ثلاث نقط أحداثياتها .

أفقى	رأسى	
١٠٠	١٠٠	ا
٣١٥	٦٧٦	ب
٩٠٠	٨٥٠ —	ح

عين نصف قطر المنحنى البسيط الذى يمر بالثلاث نقط ثم حدد طول قوس المنحنى .

١٧ — يراد تخطيط طريق منحنى بحيث يكون مماساً للخطوط ا ب ، ب ح ، ا ح .

فإذا كانت أحداثيات كل من ا ، ب هي .

ا ( — ٢٩٣٤ ، — ١٢٨٧٦ )

ب ( — ١٧٧٩٧ ، — ٥٨٣٩ )

واخلاف ا ، ح ب هما :

١٠ " ٥٨ ' ٥١١٤ ، ١٠ " ٢٤ ' ٥٥٤

عين نصف قطر المنحنى وطوله .

١٨ — خطان مستقيمان ا ب ، ا ح اخرافيهما الدائرى ٥٣٢٩ ، ٥٣١ على الترتيب وطول كل منهما هو ٢٠٠ متر يراد إيصالهما بمنحنى دائرى بسيط متيامن من ب إلى ح فى الجهة العكسية من ا بالنسبة إلى ب ح عين :

ا ( نصف المنحنى

ب ( إحداثيات قمته بالنسبة لنقطة ا

ح ( طول السهم الداخلى والخارجى ) طول المنحنى



هـ ( معدل الانحدار على المنحني إذا كان الفرق بين منسوبي ب، ح هو ١٤ متراً .

١٩ — منحني دائري بسيط يصل مماسين زاوية التقاطع لهما  $64^\circ$  ويمر بنقطة ح التي تقع على خط مستقيم يمر بنقطة التقاطع ويصنع  $18^\circ$  مع المماس الأول — فإذا كانت النقطة ح تبعد عمودياً عن المماس الأول ١٠٥ متر فعين نصف قطر المنحني .

٢٠ — مماسان لمنحني دائري بسيط لا يمكن إحتلال نقطة تقاطعهما فأخذت نقطتان س، ص على كل منهما وقيست الزاويتان الداخليتان س، ص فكانت  $19^\circ$ ،  $28^\circ$ ،  $22^\circ$ ،  $14^\circ$  وكانت المسافة س ص =  $6,5$  جنزير وتدرج س هو  $76,74$  عين أحداثيات نقطة القمة من المماس الجزئي وكذلك تدرج النقطة التي تليها مباشرة إذا كانت درجة المنحني  $4^\circ$  .

٢١ — منحني دائري يصل بين أ ح، ب ح . وكان نصف القطر ٤٠٠ م . أوجد ما يلي :

١ — العمود اللازم لتوقيع ثاني وثالث نقطة على المنحني غير نقطة التماس الأولى وذلك بطريقة امتداد الأوتار .

٢ — تدرج نقطة التماس الثانية ب .

٣ — زاوية إنحراف النقطة الأخيرة عن المنحني قبل ب .

٤ — زاوية إنحراف أول نقطة ذات تدرج بعد منتصف المنحني وذلك من منتصف الوتر الكلي .

٥ — ما هو الأحداثي السيني لنقطة إذا كان بعدها عن الوتر الكلي ١,٤٥ م .

٦ — زاوية إنحراف نقطة على بعد ٨٠ متر من ب على المنحني .

٧ — العمود اللازم لتوقيع آخر نقطة قبل ب . ( بطريقة امتداد الأوتاد ) .



- ٨ — ما تدريج النقطة على المنحنى التى تجعل البعد المستقيم بينها وبين أ ضعف المسافة بينها وبين ب .
- ٩ — العمود اللازم لتوقيع أول نقطة ذات تدريج بعد نقطة منتصف المنحنى .
- ١٠ — زاوية إنحراف وطول المسافة من أ حتى نقطة تبعد ١٢٠ متر من منتصف المنحنى .
- ١١ — ما بعد نقطة عند منتصف السهم الداخلى عن كل من أ ، ب وكذلك عن النقطة التى تحدد ربع المنحنى من أ .
- ١٢ — الأبعاد اللازمة لتوقيع النقطة المطلوبة فى رابعاً وذلك من المماس عند أ .
- ١٣ — نصف قطر المنحنى الذى لا يختلف فيه طول المنحنى ( ٤٠ متر ) وطول الوتر المقابل له عن عشرة سنتيمترات .
- ١٤ — الأحداثيات اللازمة لتوقيع نقطة تبعد ٦٤ متر من ب وذلك من المماس عند أ .
- علماً بأن تدريج ح = ٤٤,٦ ، الزاوية الداخلية أ ح ب = ٢٤ ' ٥١٣٦ .
- ٢٢ — منحنى أفقى لطريق سكة حديد يمر بنقطتى ح ، د المسافة بينهما على الخط المستقيم = ١٨٠ متراً . من نقطة س التى على ح د وتبعد بمقدار ٧٠ متراً من أقيم العمود س ص ليقابل المنحنى فى ص فكان طوله = ٢٨ متراً فأوجد ما يلى :
- أولاً — نصف قطر المنحنى .
- ثانياً — تدريج نقطة ربع المنحنى إذا كان تدريج نقطة تقاطع مماسى المنحنى = ٤٧,١٦ .
- ثالثاً — تدريج نقطة ص .
- رابعاً — زاوية أنحراف نقطة ص من نقطة التماس الأولى .



خامساً — طول العمود اللازم لتوقيع نقطة على المنحنى من حـ و تبعد عن منتصف المنحنى بمقدار ٢٠ متراً .

سادساً — طول العمود اللازم لتوقيع نقطة نهاية المنحنى والنقطة التي قبلها .

سابعاً — طول كل من السهم الداخلى والخارجى .

٢٣ — طريق مستقيم بعرض ٨ متر وطريق آخر نصف قطره ٥٠ متر وبعرض ٨ متر . أوجد المساحة المشتركة بين الطريقين .

٢٤ — طريقان بنصفى قطر ٨٠ متراً ، ١٢٠ متراً يتقاطعان . أوجد المساحة المشتركة بين الطريقين علماً بأن عرض كل من الطريقين عشرة أمتار .

٢٥ — النقطة الأولى للتماس فى منحنى سكة حديد نصف قطره ٤٠ جنزيراً تقع فى الماء ، ولكن أمكن إيجاد تدريجها وهو ٤٠,١٤ يراد وضع وتد عند التدريج ٤٥ بالرصد من نقطة ٤٧ على التماس . أحسب لأقرب ٢٠ " الزاوية الواجب توقيعها من التماس والمسافة الواجب قياسها لتوقيع هذا التد .

٢٦ — يراد عمل منحنى بين مماسين الزاوية الداخلية بينهما ١٠٣° ويمر بنقطة التى تقع على خط مستقيم يمر بنقطة حـ نقطة التقاطع وهذا المستقيم يصنع زاوية ٥ = ١٣° مع التماس الأول . علماً بأن المسافة حـ ط = ١٥٠ متر . أوجد نصف القطر .

٢٧ — عند توقيع منحنى سكة حديد وجد أنه لزاماً أن يمر بنقطة تبعد ٥٠ متراً عن نقطة التقاطع على بعدين متساويين من التماسين . تدريج نقطة التقاطع ٢٧٠° وزاوية التقاطع ٢٨° . أحسب نصف قطر المنحنى وتدرج ابتداء وانتهاء المنحنى وكذلك درجة المنحنى .

٢٨ — طريق مستقيم عرضه ١٦ متراً يتفرع من طريق دائرى نصف قطره ١٢٠ متراً . فإذا كانت المسافة العمودية بين نقطة التفرع لمحور الطريقين ونقطة تلاقي الطريقين هى ٥٦ متراً . فعين المساحة المشتركة بين الطريقين .



٢٩ — طريقان منحنيان نصف قطرهما ١٦٠ ، ٢٤٠ متراً — يتقابل  
محوارهما في نقطة على الخط الواصل بين مركزيهما فإذا كان عرض كل من  
الطريقين ١٢ متراً ، وكان البعد العمودي من نقطة تلاقي الطريقين والخط  
الواصل بين المركزين هو ٦٦ فعين المساحة المشتركة بين الطريقين :  
أولاً — إذا كان انحناء الطريقين في اتجاهين مختلفين .  
ثانياً — إذا كان انحناء الطريقين في اتجاهين متضادين .







## الباب الثامن عشر المنحنيات المركبة والعكسية

### Compound and Reversed Curves

#### أولاً — المنحنيات المركبة

المنحنى المركب هو منحنى مكون من قوسين دائريين ( أو أكثر ) نصفاً قطريهما مختلف شكل ( ١٩٠ ، ١٩١ ) وبحيث يكون مراكزهما في جهة واحدة من المماس المشترك لهما .

ويستعمل المنحنى المركب في الأحوال الآتية :

١ — حالة صعوبة تخطيط المنحنيات البسيطة لوجود موانع لا يمكن إزالتها ويرجع ذلك عادة إلى طبيعة سطح الأرض في المنطقة .

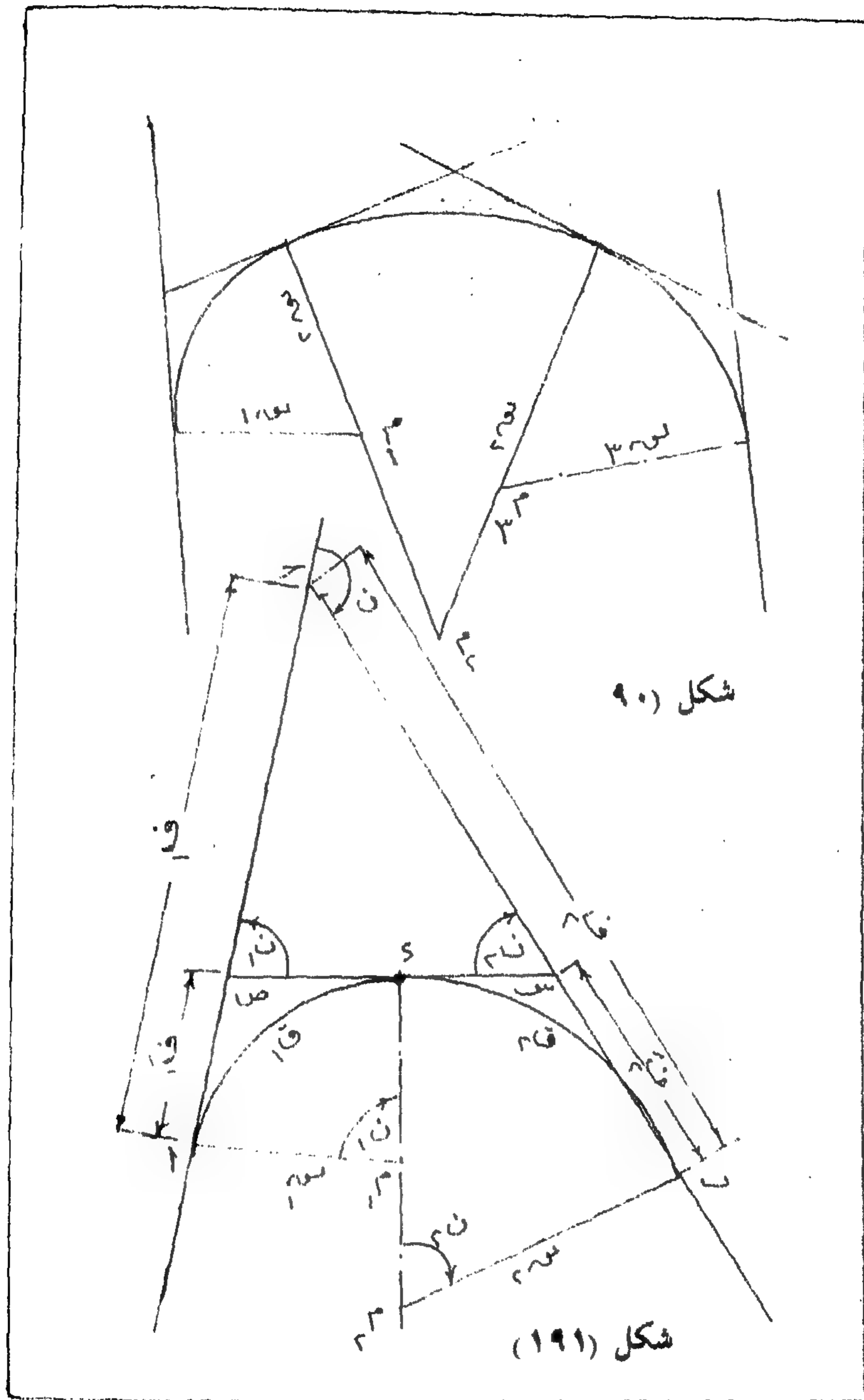
٢ — حالة العقبات التي تنشأ عن وجود الأعمال الصناعية الهامة والتي لا يمكن إزالتها حيث أن الواجب دائماً هو تخطيط الطريق تخطيطاً إقتصادياً بالإضافة إلى اختيار درجة التقوس المناسبة من الناحية الهندسية .

٣ — في الأراضي الجبلية لتفادي كميات الحفر أو عمل أنفاق إذا كانت منطقة المنحنى مرتفعة ارتفاعاً كبيراً .

٤ — حالة وجود منحنيين بسيطين متجاورين ويفصلهما جزء مستقيم قصير وفي هذه الحالة يستبدل بهذين المنحنيين البسيطين منحنى مركب لتسهيل القيادة على الطريق .

وعموماً يجب عدم استعمال المنحنيات المركبة إلا إذا تطلبت طبيعة الأرض وظروف المشروع ذلك حسب ما ذكرنا ، إذ أنه غير مرغوب فيه هندسياً .







## عناصر وأجزاء المنحنى المركب

لدينا منحنين بسيطين  $a$  ،  $b$  يصلان  $a$  ،  $b$  ويمثلان منحنى مركب يمر كل من  $a$  ،  $b$  ،  $c$  ،  $d$  .

وشكل ( ١٩١ ) يبين أجزاء المنحنى المركب وهى :

$m_1, m_2$  = مركزا القوسين

$r_1, r_2$  = نصف القطرين حيث  $r_1$  الأكبر دائماً سواء أكان قوسه فى الأبتداء أو فى الانتهاء .

$\theta$  = زاوية تقاطع المنحنى المركب .

$f_1, f_2$  = طول المماسين حيث  $f_1$  هو الأكبر ويجاور القوس ذى نصف القطر الأكبر .

$s$  = طول المماس المشترك للمنحنى عند نقطة اتصال القوسين =  $f'_1 + f'_2$

$\phi_1, \phi_2$  = الزاويتان المركزيتان المقابلتان للقوسين .

$\psi_1, \psi_2$  = طولاً قوسى المنحنى  $a$  ،  $b$  على الترتيب :

المماسان الجزئيان للقوس  $\psi_1$  هما  $a$  ،  $s$  ،  $s = f'_1$

المماسان الجزئيان للقوس  $\psi_2$  هما  $s$  ،  $b$  ،  $s = f'_2$

$a$  ،  $b$  بداية ونهاية المنحنى المركب ،  $d$  نقطة اتصال القوسين ونهاية  $\psi_1$  ، وبداية  $\psi_2$  .

خواص المنحنى المركب :

١ — مراكز الأقواس المكونة للمنحنى ، تكون جميعها فى جهة واحدة من المنحنى .

٢ — نقطة التماس المشتركة والمركزان  $m_1$  ،  $m_2$  تقع على خط مستقيم واحد .



٣ - زاوية التقاطع الكلية ه = مجموع الزاويتين ه<sub>١</sub> ، ه<sub>٢</sub> أو بحالة أعم تساوى مجموع الزوايا المركزية للأقواس مهما كان عددها .

٤ - طول المماس المشترك = ص د + د س = ف' + ف' .

٥ - خطا التماس الأول والأخير غير متساويين فى الطول .

٦ - المماس المشترك عمودى على الخط الواصل بين المركزين .

٧ - أنصاف الأقطار تكون مختلفة ولا يتساوى أى نصفى قطرين متتاليين .

### العلاقة بين أجزاء المنحنى المركب :

الكميات التى يستدل بها على المنحنى المركب هى :

نصفا قطرى الجزئين البسيطين س<sub>١</sub> ، س<sub>٢</sub> .

طولا المماسين للمنحنى المركب ف' ، ف' .

زاويتا الجزئين البسيطين ( الزاويتان المركزيتان ) ه<sub>١</sub> ، ه<sub>٢</sub> .

زاوية التقاطع الكلية ه .

وتتواجد بين هذه الكميات علاقات أساسية يمكن إستنتاجها من شكل

( ١٩١ ) كما يلى :-

$$ف' = ف' + (ف' + ف') \frac{جا ه}{٢}$$

$$= س<sub>١</sub> ظا \frac{١}{٢} ه + (س<sub>٢</sub> ظا \frac{١}{٢} ه) +$$

$$+ س<sub>٢</sub> ظا \frac{١}{٢} ه \frac{جا ه}{٢}$$

$$ف' جا ه = س<sub>١</sub> ظا \frac{١}{٢} ه جا ه + س<sub>٢</sub> ظا \frac{١}{٢} ه جا ه +$$



$$x_2 \text{ ظا } \frac{1}{2} \text{ جا } x_2$$

$$= x_2 \text{ ظا } \frac{1}{2} + (x_2 + x_2) \text{ جا } x_2$$

$$\frac{\text{جا } \frac{1}{2} x_2 \times 2 \text{ جا } \frac{1}{2} x_2 \times \text{جتا } \frac{1}{2} x_2}{\text{جتا } \frac{1}{2} x_2}$$

$$= \frac{\text{جا } \frac{1}{2} (x_2 - x_2) \times 2 \text{ جا } \frac{1}{2} (x_2 + x_2) \times \text{جتا } \frac{1}{2} (x_2 - x_2)}{\text{جتا } \frac{1}{2} (x_2 - x_2)}$$

$$+ 2 x_2 \text{ جا } \frac{1}{2} x_2$$

$$= x_2 (\text{جتا } \frac{1}{2} - 1) + x_2 (1 - \text{جتا } \frac{1}{2})$$

ومنہا :

$$\boxed{f_1 \text{ جا } x_2 = x_2 [(1 - \text{جتا } \frac{1}{2}) - (\text{جتا } \frac{1}{2} - 1)] + x_2 (1 - \text{جتا } \frac{1}{2})}$$

..... (۱۳۲)

أو :

$$\boxed{f_1 \text{ جا } x_2 = x_2 (1 - \text{جتا } \frac{1}{2}) + (x_2 - x_2) (\text{جتا } \frac{1}{2} - 1)}$$

..... (۱۳۳)



وبالمثل :

$$f_p \text{ جا ه} = \text{جنا ه} - (1 - \text{جنا ه}) + [ (1 - \text{جنا ه}) - (1 - \text{جنا ه}) ] + (1 - \text{جنا ه})$$

( ١٣٤ ) .....

أو :

$$f_p \text{ جا ه} = \text{جنا ه} - (1 - \text{جنا ه}) - (1 - \text{جنا ه}) + (1 - \text{جنا ه})$$

( ١٣٥ ) .....

ولمعرفة جميع أجزاء المنحنى السبعة يجب معرفة أربعة منها وإيجاد الحدود الثلاثة الباقية بحل المعادلتين ، مع المعادلة الآتية ، كمعادلات آتية :

$$h_1 + h_2 = h$$

والأربعة أجزاء المعلومة هي ( ه ) دائماً مع ثلاثة أجزاء أخرى مع إحدى الحالات الآتية :

١ -  $h_1, h_2$  ، إحدى الزاويتين ( ه ، أو ه ) .

٢ -  $h_1, h_2$  ، وطول مماس ( ف ، أو ف ) .

٣ - المماسات وزاوية مركزية .

٤ - نصف قطر وطول مماس وزاوية مركزية .

٥ - طولاً مماسين وزاوية مركزية .

٦ - نصف قطر ومماس غير مجاور وزاوية مركزية .

وأن كان من المستحسن أن تحل جميع حالات المنحنى المركب على أساس أنها أجزاء من منحنيات بسيطة ، وفي هذه الحالة لا يلزم تطبيق المعادلات السابقة . بل نحل المسائل من العناصر الأولية للمنحنى البسيط ، ويلزم لذلك



أن نصل م<sub>١</sub> ح ، ونسقط من م<sub>١</sub> العمود م<sub>١</sub> م على م<sub>٢</sub> ب شكل ( ١٩٢ )  
وأخيراً نرسم من م<sub>١</sub> الخط م<sub>١</sub> ك موازياً ب م<sub>٢</sub> ليقابل ب ح في ك . وذلك في  
حالة معرفة ف<sub>١</sub> .

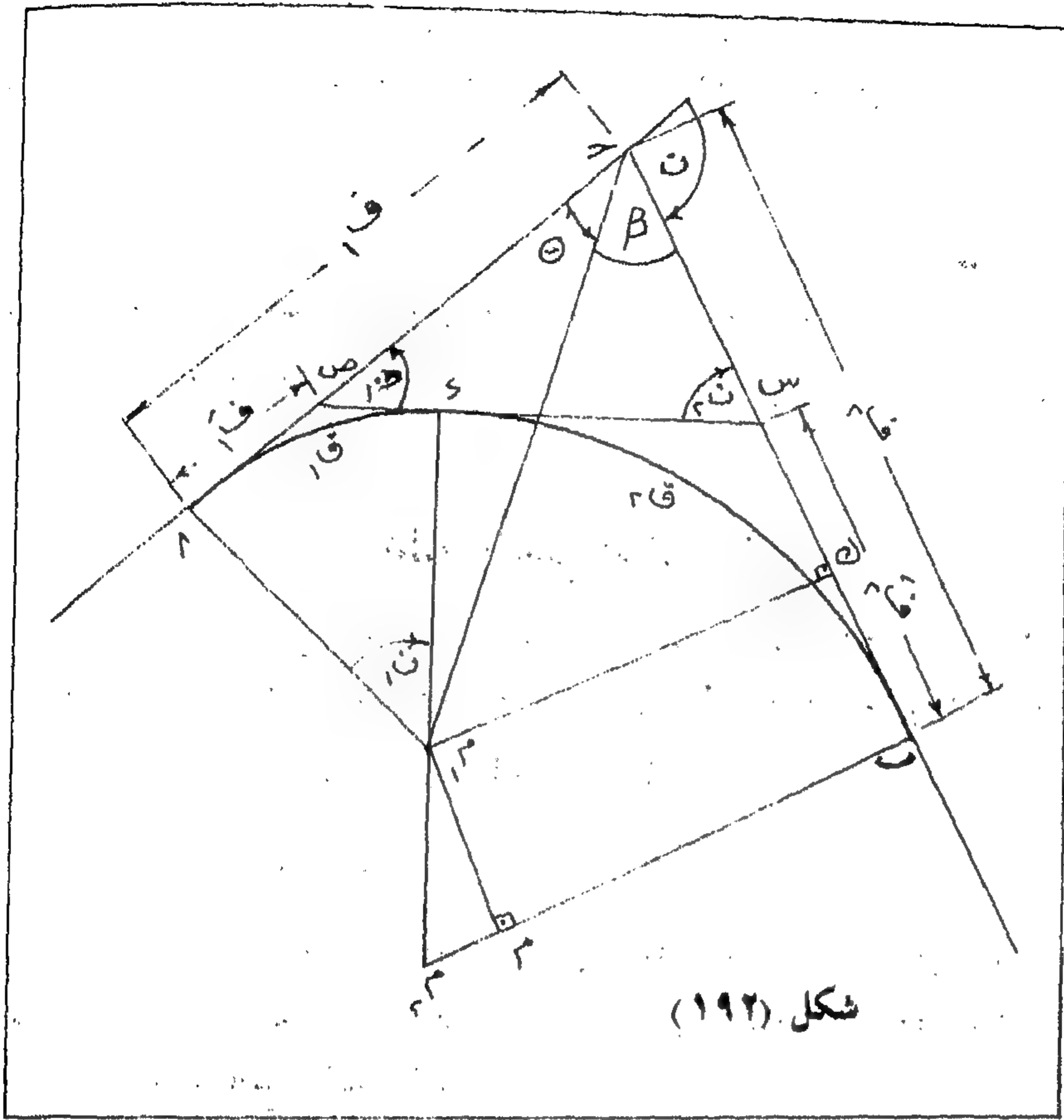
لدينا الآن ثلاثة مثلثات هي ا ح م<sub>١</sub> ، ح م<sub>١</sub> ك ، م<sub>١</sub> م<sub>٢</sub> م يمكن منها  
استنتاج أية مقادير مطلوبة . وفي حالة معرفة ف<sub>٢</sub> نصل م<sub>٢</sub> ح ، ونسقط من  
م<sub>٢</sub> العمود م<sub>٢</sub> م على م<sub>١</sub> ب وأخيراً نرسم من م<sub>٢</sub> الخط م<sub>٢</sub> ك موازياً م<sub>١</sub> ليقابل  
ا ح في ك .

### تخطيط المنحنى المركب

من أجزاء المنحنى المركب المعلومة تحسب بقية الكميات اللازمة  
للتخطيط . نفرض مثلاً أن المعلوم ف<sub>١</sub> ، م<sub>١</sub> ، م<sub>٢</sub> ، هـ لمنحنى مركب .  
ولتخطيط هذا المنحنى تجرى الخطوات التالية :

- ١ — نحسب المقادير ف<sub>٢</sub> ، هـ<sub>١</sub> ، هـ<sub>٢</sub> ، م<sub>١</sub> ، م<sub>٢</sub> .
- ٢ — يوقع المماسان الخارجيان إما من أشياء ثابتة أو من ترافرس ( وقد  
يكون المماسان موجودين من قبل ) ونعدها حتى يتقاطعا في نقطة مثل ح  
ونقيس زاوية التقاطع بالتيودوليت .
- ٣ — تعين نقطتا التماس ا ، ب بقياس ف<sub>١</sub> ، ف<sub>٢</sub> بالشريط على إتجاهي  
المماسين من ح .
- ٤ — تحسب زوايا الانحراف لتخطيط القوس الأول ا ب ك لمنحنى بسيط ،  
وكتحقيق للعمل يجب أن تقع د على زاوية انحراف  $\frac{1}{2} \text{ هـ}$  مع مراعاة وجود  
أو عدم وجود وتر جزئي عند ا .
- ٥ — لتخطيط القوس د ب تحسب زوايا الانحراف كما سبق وتوقع من  
المماس عند د مع مراعاة وجود وتر جزئي .
- ٦ — يوقع القوس ا د من ا ثم ينقل التيودوليت إلى د ونعين القراءة





شكل (١٩٢)

(٣٦٠ -  $\frac{1}{2}$  هـ) على الحافة الأفقية ونوجه التيودوليت توجيهاً أساسياً على ١

ثم نجرفه ليقراً صفراً فيكون بذلك مماساً عند د للمنحنى في إتجاه المماس المشترك نس ص .

٧ - نبدأ في توقيع النقط على المنحنى د ب حتى نقطة ب ، ولتحقيق العمل يجب أن تقع ب على زاوية إنحراف مقدارها  $\frac{1}{2}$  هـ .

مثال ١ - المعلوم في منحنى مركب ما يلي :  $\frac{1}{2}$  هـ = ٤٠٠ متر ،  $\frac{1}{2}$  هـ = ٨٠٠ متر ، ف  $\frac{1}{2}$  هـ = ٣٥٠,٨٠ متر ،  $\frac{1}{2}$  هـ = ٢٩ ' ٥٦٣ .



والطول ( أى ذى النصف قطر الأصغر ) يأتى أولاً فى إتجاه التدرج .

علماء بأن تدرج نقطة  $\gamma = 8000$  متر والمطلوب  $h_1$ ،  $h_2$ ،  $h_3$ ،  $h_4$ ،  $h_5$ ،  $h_6$ ،  $h_7$ ،  $h_8$ ،  $h_9$ ،  $h_{10}$ ،  $h_{11}$ ،  $h_{12}$ ،  $h_{13}$ ،  $h_{14}$ ،  $h_{15}$ ،  $h_{16}$ ،  $h_{17}$ ،  $h_{18}$ ،  $h_{19}$ ،  $h_{20}$ ،  $h_{21}$ ،  $h_{22}$ ،  $h_{23}$ ،  $h_{24}$ ،  $h_{25}$ ،  $h_{26}$ ،  $h_{27}$ ،  $h_{28}$ ،  $h_{29}$ ،  $h_{30}$ ،  $h_{31}$ ،  $h_{32}$ ،  $h_{33}$ ،  $h_{34}$ ،  $h_{35}$ ،  $h_{36}$ ،  $h_{37}$ ،  $h_{38}$ ،  $h_{39}$ ،  $h_{40}$ ،  $h_{41}$ ،  $h_{42}$ ،  $h_{43}$ ،  $h_{44}$ ،  $h_{45}$ ،  $h_{46}$ ،  $h_{47}$ ،  $h_{48}$ ،  $h_{49}$ ،  $h_{50}$ ،  $h_{51}$ ،  $h_{52}$ ،  $h_{53}$ ،  $h_{54}$ ،  $h_{55}$ ،  $h_{56}$ ،  $h_{57}$ ،  $h_{58}$ ،  $h_{59}$ ،  $h_{60}$ ،  $h_{61}$ ،  $h_{62}$ ،  $h_{63}$ ،  $h_{64}$ ،  $h_{65}$ ،  $h_{66}$ ،  $h_{67}$ ،  $h_{68}$ ،  $h_{69}$ ،  $h_{70}$ ،  $h_{71}$ ،  $h_{72}$ ،  $h_{73}$ ،  $h_{74}$ ،  $h_{75}$ ،  $h_{76}$ ،  $h_{77}$ ،  $h_{78}$ ،  $h_{79}$ ،  $h_{80}$ ،  $h_{81}$ ،  $h_{82}$ ،  $h_{83}$ ،  $h_{84}$ ،  $h_{85}$ ،  $h_{86}$ ،  $h_{87}$ ،  $h_{88}$ ،  $h_{89}$ ،  $h_{90}$ ،  $h_{91}$ ،  $h_{92}$ ،  $h_{93}$ ،  $h_{94}$ ،  $h_{95}$ ،  $h_{96}$ ،  $h_{97}$ ،  $h_{98}$ ،  $h_{99}$ ،  $h_{100}$ ،  $h_{101}$ ،  $h_{102}$ ،  $h_{103}$ ،  $h_{104}$ ،  $h_{105}$ ،  $h_{106}$ ،  $h_{107}$ ،  $h_{108}$ ،  $h_{109}$ ،  $h_{110}$ ،  $h_{111}$ ،  $h_{112}$ ،  $h_{113}$ ،  $h_{114}$ ،  $h_{115}$ ،  $h_{116}$ ،  $h_{117}$ ،  $h_{118}$ ،  $h_{119}$ ،  $h_{120}$ ،  $h_{121}$ ،  $h_{122}$ ،  $h_{123}$ ،  $h_{124}$ ،  $h_{125}$ ،  $h_{126}$ ،  $h_{127}$ ،  $h_{128}$ ،  $h_{129}$ ،  $h_{130}$ ،  $h_{131}$ ،  $h_{132}$ ،  $h_{133}$ ،  $h_{134}$ ،  $h_{135}$ ،  $h_{136}$ ،  $h_{137}$ ،  $h_{138}$ ،  $h_{139}$ ،  $h_{140}$ ،  $h_{141}$ ،  $h_{142}$ ،  $h_{143}$ ،  $h_{144}$ ،  $h_{145}$ ،  $h_{146}$ ،  $h_{147}$ ،  $h_{148}$ ،  $h_{149}$ ،  $h_{150}$ ،  $h_{151}$ ،  $h_{152}$ ،  $h_{153}$ ،  $h_{154}$ ،  $h_{155}$ ،  $h_{156}$ ،  $h_{157}$ ،  $h_{158}$ ،  $h_{159}$ ،  $h_{160}$ ،  $h_{161}$ ،  $h_{162}$ ،  $h_{163}$ ،  $h_{164}$ ،  $h_{165}$ ،  $h_{166}$ ،  $h_{167}$ ،  $h_{168}$ ،  $h_{169}$ ،  $h_{170}$ ،  $h_{171}$ ،  $h_{172}$ ،  $h_{173}$ ،  $h_{174}$ ،  $h_{175}$ ،  $h_{176}$ ،  $h_{177}$ ،  $h_{178}$ ،  $h_{179}$ ،  $h_{180}$ ،  $h_{181}$ ،  $h_{182}$ ،  $h_{183}$ ،  $h_{184}$ ،  $h_{185}$ ،  $h_{186}$ ،  $h_{187}$ ،  $h_{188}$ ،  $h_{189}$ ،  $h_{190}$ ،  $h_{191}$ ،  $h_{192}$ ،  $h_{193}$ ،  $h_{194}$ ،  $h_{195}$ ،  $h_{196}$ ،  $h_{197}$ ،  $h_{198}$ ،  $h_{199}$ ،  $h_{200}$ ،  $h_{201}$ ،  $h_{202}$ ،  $h_{203}$ ،  $h_{204}$ ،  $h_{205}$ ،  $h_{206}$ ،  $h_{207}$ ،  $h_{208}$ ،  $h_{209}$ ،  $h_{210}$ ،  $h_{211}$ ،  $h_{212}$ ،  $h_{213}$ ،  $h_{214}$ ،  $h_{215}$ ،  $h_{216}$ ،  $h_{217}$ ،  $h_{218}$ ،  $h_{219}$ ،  $h_{220}$ ،  $h_{221}$ ،  $h_{222}$ ،  $h_{223}$ ،  $h_{224}$ ،  $h_{225}$ ،  $h_{226}$ ،  $h_{227}$ ،  $h_{228}$ ،  $h_{229}$ ،  $h_{230}$ ،  $h_{231}$ ،  $h_{232}$ ،  $h_{233}$ ،  $h_{234}$ ،  $h_{235}$ ،  $h_{236}$ ،  $h_{237}$ ،  $h_{238}$ ،  $h_{239}$ ،  $h_{240}$ ،  $h_{241}$ ،  $h_{242}$ ،  $h_{243}$ ،  $h_{244}$ ،  $h_{245}$ ،  $h_{246}$ ،  $h_{247}$ ،  $h_{248}$ ،  $h_{249}$ ،  $h_{250}$ ،  $h_{251}$ ،  $h_{252}$ ،  $h_{253}$ ،  $h_{254}$ ،  $h_{255}$ ،  $h_{256}$ ،  $h_{257}$ ،  $h_{258}$ ،  $h_{259}$ ،  $h_{260}$ ،  $h_{261}$ ،  $h_{262}$ ،  $h_{263}$ ،  $h_{264}$ ،  $h_{265}$ ،  $h_{266}$ ،  $h_{267}$ ،  $h_{268}$ ،  $h_{269}$ ،  $h_{270}$ ،  $h_{271}$ ،  $h_{272}$ ،  $h_{273}$ ،  $h_{274}$ ،  $h_{275}$ ،  $h_{276}$ ،  $h_{277}$ ،  $h_{278}$ ،  $h_{279}$ ،  $h_{280}$ ،  $h_{281}$ ،  $h_{282}$ ،  $h_{283}$ ،  $h_{284}$ ،  $h_{285}$ ،  $h_{286}$ ،  $h_{287}$ ،  $h_{288}$ ،  $h_{289}$ ،  $h_{290}$ ،  $h_{291}$ ،  $h_{292}$ ،  $h_{293}$ ،  $h_{294}$ ،  $h_{295}$ ،  $h_{296}$ ،  $h_{297}$ ،  $h_{298}$ ،  $h_{299}$ ،  $h_{300}$ ،  $h_{301}$ ،  $h_{302}$ ،  $h_{303}$ ،  $h_{304}$ ،  $h_{305}$ ،  $h_{306}$ ،  $h_{307}$ ،  $h_{308}$ ،  $h_{309}$ ،  $h_{310}$ ،  $h_{311}$ ،  $h_{312}$ ،  $h_{313}$ ،  $h_{314}$ ،  $h_{315}$ ،  $h_{316}$ ،  $h_{317}$ ،  $h_{318}$ ،  $h_{319}$ ،  $h_{320}$ ،  $h_{321}$ ،  $h_{322}$ ،  $h_{323}$ ،  $h_{324}$ ،  $h_{325}$ ،  $h_{326}$ ،  $h_{327}$ ،  $h_{328}$ ،  $h_{329}$ ،  $h_{330}$ ،  $h_{331}$ ،  $h_{332}$ ،  $h_{333}$ ،  $h_{334}$ ،  $h_{335}$ ،  $h_{336}$ ،  $h_{337}$ ،  $h_{338}$ ،  $h_{339}$ ،  $h_{340}$ ،  $h_{341}$ ،  $h_{342}$ ،  $h_{343}$ ،  $h_{344}$ ،  $h_{345}$ ،  $h_{346}$ ،  $h_{347}$ ،  $h_{348}$ ،

الحل :

لايجاد هـ : كل الرموز معلومة في المعادلة (١٣٢) ما عدا هـ .

وبالحل  $20 = 039$

ولايجاد ٥ لدينا ٥ = ٥ + ٥

ولحساب  $F_2$  نستعمل المعادلة (١٣٤) المجهولة فيها  $F_2$  فقط وبالحل ينتج أن  $F_2 = 407,000$  متر .

نقيس الطول ف من ح فتعين نقطة التماس الأولى .

تدریجاً  $350,8 - 8000 = 7649,2$  متر

$$1745 = 1750 - 5 \quad 1750 = 1750 - 5 = 1745$$

تدریج ۛ  $165,60 + 7649,20 = 7814,80$  متر

الوتر الجزئي الأخير على القوس  $14,8$  متراً

$$= 0.1745 \text{ م٢} = 5.5 \text{ م٢}$$

تدریج نقطه ب = ۷۸۴۱,۸ + ۵۵۵,۰۰ = ۸۳۹۶,۸ متر

ومن هذه المعلومات يمكن تجهيز جدول زوايا انحراف تخطيط القوسين كما في المنحنيات البسيطة .

مثال ٢ - المعلوم في منحنى مركب المقادير =  $\frac{1}{1} = 200$  متر،  $\frac{1}{2} = 400$  م.

ف، = ٢٠٥ متر،  $h = ٣٠' ٨٠''$  والمنحنى يبدأ بالجزء ذى القطر الأكبر وتدرج نقطة التقاطع ح هو ( ٦٤ ) شكل (١٩٢) .

المطلوب تعيين تدرج كل من بداية ونهاية المنحنى ونقطة اتصال المنحنيين وكذلك الكميات اللازمة لتخطيط هذا المنحنى باستعمال طريقة الانحرافات .



الحل :

لايجاد تدريج بدء ونهاية المنحنى ونقطة اتصال المنحنيين لابد من الحصول على المقادير  $هـ_١$  ،  $هـ_٢$  ،  $ف_٢$  ، ويمكن اجراء الحل بدون اللجوء إلى معادلات المنحنى المركب كالتالى :

من الشكل (١٩٢) فى المثلث  $ا ح م$  :

$$\frac{٢٠٠}{٢٠٥} \text{ ظا } ١ = \frac{ص_١}{ف_١} \text{ ظا } ١ = \theta$$

$$\theta = ١٨' ٥٤٤$$

$$\beta = ١٨٠' ٥ - (\theta + ٥) = ١٢' ٥٥٥$$

فى المثلث  $ح ك م$  :

$$ح ك = ح م \text{ جتا } \beta$$

$$ص_١ = م_١ \text{ قتا } \theta \text{ جتا } \beta$$

$$٢٠٠ = ١٨' ٥٤٤ \text{ جتا } ١٢' ٥٥٥ = ١٦٣,٥ \text{ متراً}$$

$$م_١ ك = ح ك \text{ جا } \beta$$

$$٢٠٠ = ١٨' ٥٤٤ \text{ جا } ١٢' ٥٥٥ = ٢٣٥,٢ \text{ متراً}$$

$$٢٢٢ = م_٢ ب - م_١ ب = م_٢ ب - م_١ ك$$

$$١٦٤,٨ = ٢٣٥,٢ - ٤٠٠ =$$

$$\text{فى المثلث } م_١ م_٢ م \text{ جتا } ١ = \frac{٢٢٢}{٢٠٠} = \frac{١٦٤,٨}{٢٠٠} = ٣١' ٥٣٤$$

$$٥٩' ٥٤٥ =$$

$$٢٢٢ = م_١ م_٢ \text{ جا } ٥٩' ٥٤٥$$

$$٢٠٠ = ٣١' ٥٣٤ \text{ جا } ٢٠٠ = ١١٣,١٧ \text{ متر}$$

$$٢٢٢ = ح ك + م_١ م$$



$$= 163,5 + 113,17 = 276,67 \text{ مترا}$$

$$= 0,1745 \text{ هـ} , 1 \text{ م} = 160,48 \text{ مترا}$$

$$= 0,1745 \text{ هـ} , 2 \text{ م} = 240,93 \text{ مترا}$$

تدرج النقطة ب أول المنحنى = تدرج ح - ف

تدرج النقطة د اتصال الجزئين =  $1003,333 + 240,93 = 1244,26$  مترا

تدرج نقطة ا نهاية المنحنى =  $1244,26 + 160,48 = 1404,74$  متر

ومن هذه المعلومات يمكن حساب الوتر الجزئى الأول والأخير وكذلك تجهيز زوايا الانحراف لتخطيط القوسين ابتداء من النقطة ب كما فى المنحنيات البسيطة .

### ثانياً — المنحنيات العكسية

يتكون المنحنى العكسى من قوسين يختلف اتجاه النقيوس فيهما بالنسبة للمماس المشترك ويقع مركزا الجزئين الدائريين كل فى جهة بالنسبة لهذا المماس شكل ( ١٩٣ ) ويستعمل هذا النوع من المنحنيات لإيصال طريقين شبه متوازيين أو متوازيين وفى الطرق الفرعية وفى أحواش السكك الحديدية حيث حركة المرور بطيئة جداً نظراً لأن الانعكاس المفاجئ فى الإنحناء غير مرغوب فيه على الإطلاق فى الطرق السريعة وفى هذه الحالة نجد أنه من الضرورى رفع الحد الخارجى فى الطرق والقضيب الخارجى فى السكك الحديدية ( وهذا غير ممكن عملياً ) لذا يجب أن تتجنب ما أمكن استعمال هذه المنحنيات على الخطوط السريعة وقصر استعمالها كما ذكرنا فى الخطوط الجانبية .

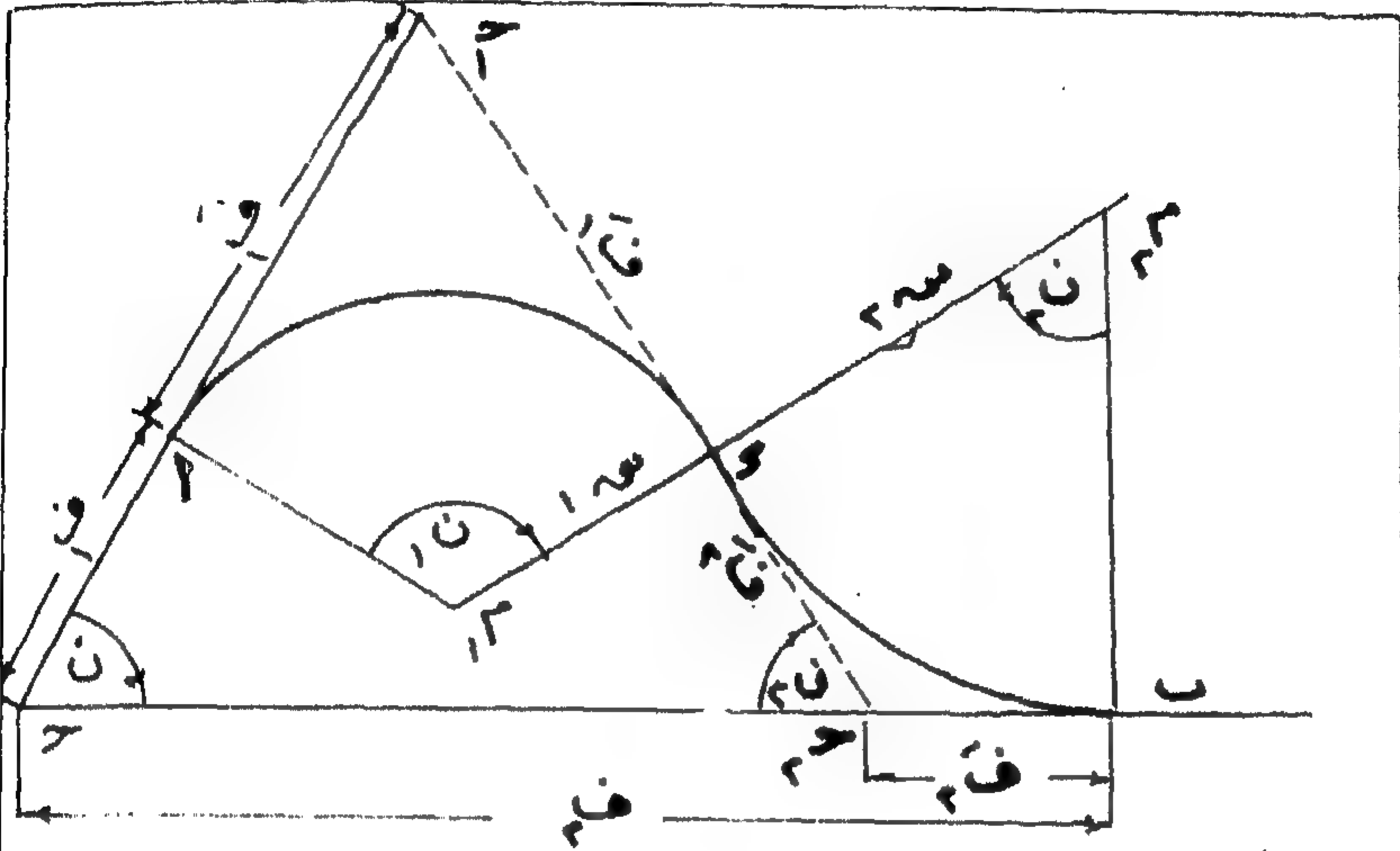
### خواص المنحنيات العكسية :

الخواص الهندسية للمنحنيات العكسية تشابه خواص المنحنيات المركبة ما عدا بعض الفروق التى تتلخص فيما يلى :

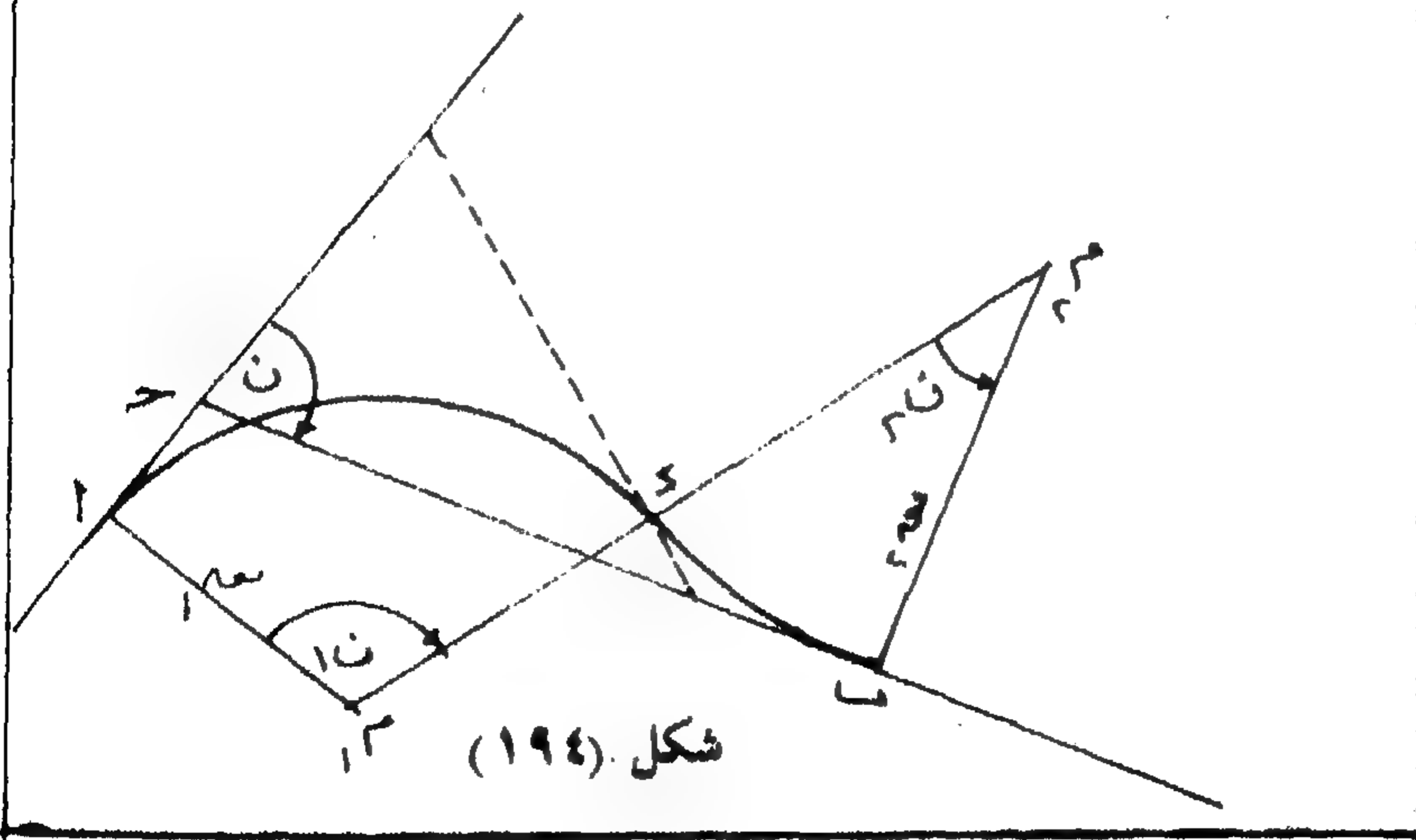
١ — قد يتساوى نصف القطرين  $1 \text{ م}$  ،  $2 \text{ م}$  فى المنحنيات العكسية ، أما فى المنحنيات المركبة يجب أن يختلفا وإلا صار منحنياً بسيطاً .



٢ — موضع نقطة التقاطع بالنسبة إلى المنحنى غير ثابت فقد تكون نقطة التقابل قبل بدء المنحنى كما في شكل ( ١٩٣ ) أو تكون بعد انتهائه أو بين هذا وذلك كما يجوز أن تقع في أى جهة بالنسبة إلى المماس المشترك والشكل ( ١٩٤ ) يبين ذلك .



شكل (١٩٣)



شكل (١٩٤)



٣ — ليس من الضروري أن يكون المماس  $F_1$  ، هو المجاور للقوس ذى نصف القطر الأكبر كما فى حالة المنحنىات المركبة .

وهناك عدة حالات أخرى تكون فيها مثلاً  $H_1$  أصغر من  $H_2$  ، ح نقطة تقاطع المماسين إما أن تقع قبل نقطة التماس الثانية ب وفى نفس الجهة التى بها  $M_1$  من المماس المشترك أو تقع بعد ب وفى الجهة التى بها  $M_2$  من المماس المشترك .

#### أجزاء المنحنى العكسى :

تعتبر أجزاء المنحنى العكسى شكل ( ١٩٣ ) هى تماماً أجزاء المنحنى المركب والمقادير التى يستدل عليها فى المنحنى العكسى هى نفس المقادير للمنحنى المركب والأختلافات الجوهرية بالنسبة لأجزاء كل من المنحنين هى :

١ — زاوية التقاطع الكلية  $H = H_1 - H_2$  فى المنحنى العكسى بينما فى المركب تكون  $H = H_1 + H_2$  .

٢ — المماس الكلى  $F_1$  فى المنحنى العكسى فى الاتجاه العكسى فلذا تكون علامته سالبة .

٣ — نصف قطر الجزء الثانى  $M_2$  فى إتجاه عكسى لاتجاه  $M_1$  فعلامته سالبة .

العلاقة بين أجزاء المنحنى العكسى :

$$F_1 \text{ جا } H = (M_1 + M_2) (1 - \text{جتا } H_2) - M_1 (1 - \text{جتا } H_1)$$

..... (١٣٦)

$$F_2 \text{ جا } H = (M_1 + M_2) (1 - \text{جتا } H_1) - M_2 (1 - \text{جتا } H_2)$$

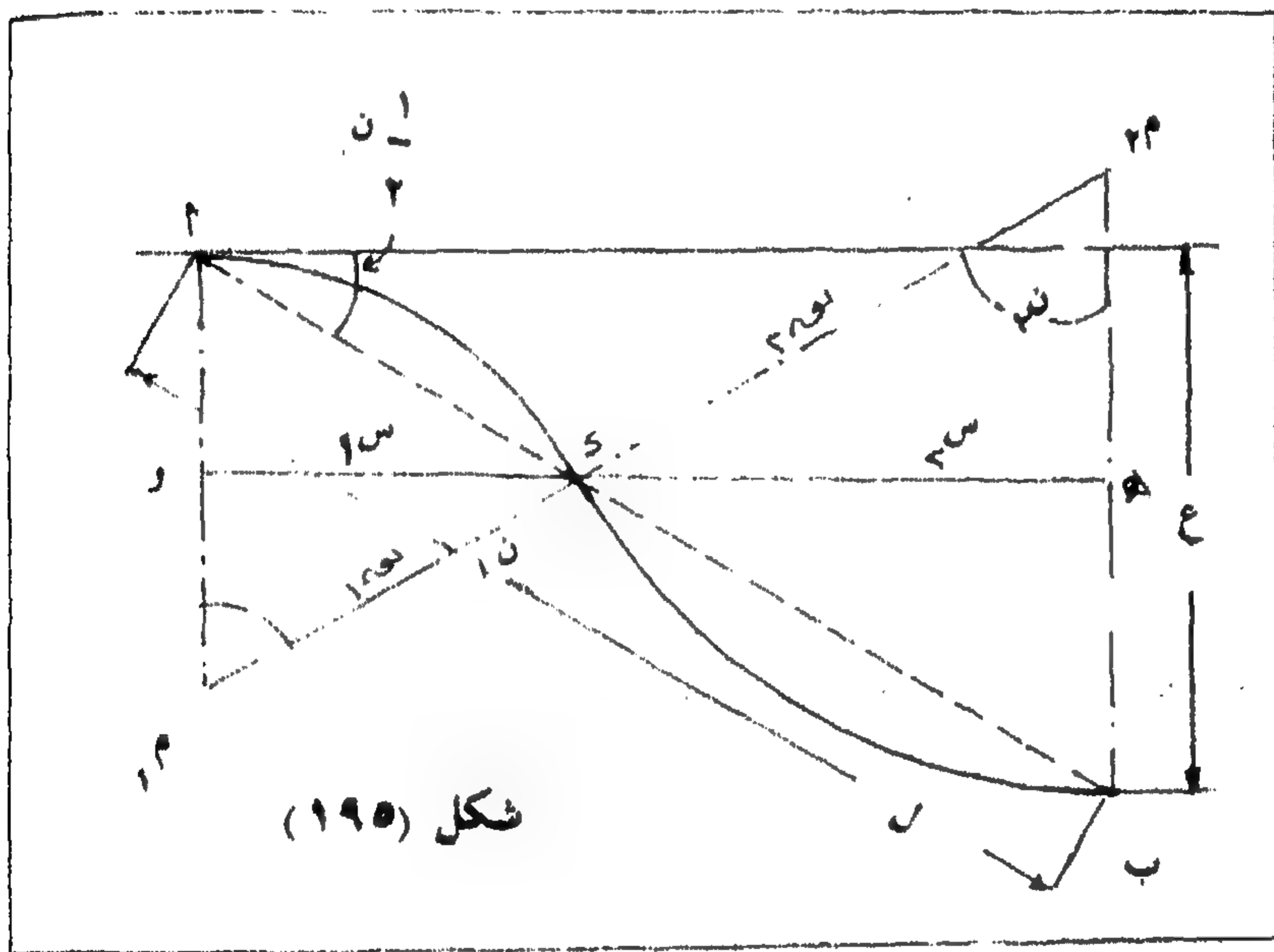
..... (١٣٧)



### حالة المماسات المتوازية :

في حالة المماسات المتوازية ، كما في شكل ( ١٩٥ ) نجد أن  
 $\varnothing = \text{صفر}$  ، وطول كل من  $F_1$  ،  $F_2 = \text{ملا نهاية}$  ، ومن ثم لا يمكن  
 تطبيق المعادلتين ( ١٣٦ ، ١٣٧ ) .

ومن الناحية العملية ، غالباً ما تكون المسافة العمودية ( ع ) بين المماسين  
 معلومة .



في شكل ( ١٩٥ ) نرسم من نقطة التماس المشتركة ، موازياً للمماسين  
 فيقابل  $M_1$  في  $و$  ،  $M_2$  في  $هـ$  .  
 $ع = ا و + هـ ب$  .

$$= ( ١ - جتا هـ ) + ( ١ - جتا و ) = ع$$

..... ( ١٣٨ )

$$ع = ( ١ - جتا هـ ) + ( ١ - جتا و )$$



أو :

..... (١٣٩)

$$١ - جتا هـ = \frac{ع}{س١ + س٢}$$

وفي كثير من الأحوال ، كما في التقاطعات والتحويلات في السكك الحديدية يكون نصف القطرين متساويين وبذا .

..... (١٤٠)

في حالة تساوى نصفى القطرين

$$- جتا هـ = \frac{ع}{س٢}$$

المسافة هـ = و هـ + ز = و س١ + ص١

$$= س٢ جا هـ + س١ جا هـ$$

$$= جا هـ (س١ + س٢)$$

فإذا علم نصف القطر فإنه يمكن تعيين نقطة ( ز ) ومن ثم نخطط المنحنى .  
أما إذا علم أحد نصفى القطرين والزاوية المركزية المقابلة له فيمكن إيجاد نصف القطر الثانى ، ومعنى ما سبق أننا إذا عرفنا س١ ، س٢ ، هـ فإننا نحصل على ع ، طول كل من المنحنيين ونوقع كل من المنحنيين حتى نقطة ز المعلوم تدريجها ، من طول المنحنى وتدرج ا .

وكثيراً ما يكون المنحنى العكسى قصيراً نسبياً ، ويمكن الاستفادة بالوتر ا ب فى التخطيط . ففى شكل (١٩٥) نجد أن ز تقع دائماً على الخط ا ب وأن طوله = ل .

$$ا ز = س٢ جا \frac{١}{٢} هـ$$



$$s = 2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}$$

ومنها :

(١٤١) .....

$$1 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ} = \frac{2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}}{2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}}$$

$$1 = 2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ} = (2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}) \frac{2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}}{2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}}$$

ومنها :

(١٤٢) .....

$$1 = \sqrt{(2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ})^2}$$

أو :

(١٤٣) .....

$$1 = \frac{2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}}{2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}}$$

وفي حالة تساوى نصفى القطرين .

(١٤٤) .....

$$1 = \frac{2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}}{2 \text{ ج } \frac{1}{2} \text{ هـ}}$$

وعموماً تخطيط المنحنى العكسى يتم كالمنحنيات السابقة تماماً بعد حساب الكميات اللازمة للتخطيط .



## أمثلة

مثال ١ - يراد توصيل خطين متوازيين المسافة العمودية بينهما ٣٠ متراً بمنحنى عكسى ، علماً بأن نصف القطر الأكبر  $r_2 = ٨٥٣,٥$  متراً وطول الوتر  $= ٣٠٠$  متراً ما قيمة  $r_1$  نصف قطر المنحنى الأصغر والزاوية المركزية  $\theta$  .

الحل :

$$r_1 = \frac{(300)^2}{60} - 853,5 = 646,5 \text{ متراً}$$

$$١ - \text{جنا} = \frac{30}{646,5 + 853,5} = \frac{30}{1500} = 0,02$$

$$\theta = 39' ٥١١$$

حل آخر :

$$\frac{1}{2} = \frac{30}{300} \text{ جنا} = 44,5' ٥٥$$

$$\theta = 29' ٥١١$$

$$r_1 = \frac{L}{2 \text{ جنا} \frac{1}{2}} = \frac{300}{0,1 \times 2} = ٨٥٣,٥$$

$$= ٨٥٣,٥ - ١٥٠٠ = 646,5 \text{ متراً}$$

مثال ٢ - منحنى مركب من قوس نصف قطره ٣٠ جنزيراً يتبعه آخر بنصف قطر يساوى ٤٠ جنزيراً . يراد إيصال المماسين الذين زاوية تقاطعها



٢٢ ' ٥٨٤ بهذا المنحنى مع العلم بأن تدريج نقطة تقاطع المماسين ٧٧,٦٤ جنزيراً . وقد أختيرت نقطة ابتداء المنحنى عند ٤٥,١٤ جنزيراً . أحسب تدريج نقطة اتصال القوسين وتدرج نقطة انتهاء المنحنى .

**الحل :**

$$ف = ٧٧,٦٤ - ٤٥,١٤ = ٣٢,٥٠ \text{ جنزير}$$

$$ف, جا ه = ه, (١ - جتا ه) + (ه, - ه,) (١ - جتا ه,) (١ - جتا ه,)$$

$$٣٢,٥٠ جا ٢٢' ٥٨٤ = ٣٠ (١ - جتا ٢٢' ٥٨٤) + (٣٠ - ٤٠) (١ - جتا ه,) (١ - جتا ه,)$$

$$٣٢,٥٠ \times ٠,٩٩٥٢ = ٣٠ (١ - ٠,٩٨٢) + (٣٠ - ٤٠) (١ - جتا ه,) (١ - جتا ه,)$$

$$جتا ه, = ٠,٤٦٢٢١$$

$$ه, = ١٢,٦ " ٢٨' ٥٦٢$$

$$ه, = ٤٧,٤ " ٥٣' ٥٢١$$

$$\text{القوس أ} = ٠,٠١٧٤٥ \times ٣٠ \times ٢١,٨٩٦٥ = ١١,٤٦٢٨$$

$$\text{تدرج أ} = ٤٥,١٤ + ١١,٤٦٢٨ = ٥٦,٦٠٣ \text{ جنزير}$$

$$\text{القوس ب} = ٠,٠١٧٤٥ \times ٤٠ \times ٦٢,٤٧٠١٦ = ٤٣,٦٠٤١٧ \text{ جنزير}$$

$$\text{تدرج ب} = ٥٦,٦٠٣ + ٤٣,٦٠٤ = ١٠٠,٢٠٧ \text{ جنزير}$$

ويمكن حل هذا المثال بدون استعمال فوائين المنحنيات المركبة

$$\text{فسوف نجد أن } \theta = \text{ظا } \frac{٣٠}{٣٢,٥٠} = ٢٣,٨ " ٤٢' ٥٤٢$$

$$\beta = ٢٦,٢ " ١' ٥٥٣$$

$$\text{م, ك} = ٣٥,٢٧٧ \text{ ومنها ه,} = ٢٨' ٥٦٢ \text{ ه,} = ٥٣' ٥٢١$$



## مسائل

١ — منحنى مركب فيه  $\mu = ٢٥$  جنزير ،  $\nu = ٤٥$  جنزير ،  $\phi = ٢٠,٥$  جنزير ،  $\psi = ٣٠$  '  $٥٧٠$  . عين ( بدون استخدام قوانين المنحنى المركب ) المماس  $\phi$  .

٢ — منحنى مركب  $ا ب ح$  ، نصف قطر القوس  $ا ب = ٦٠$  جنزير ونصف قطر القوس  $ب ح = ٤٠$  جنزير ، قيست زاوية التقاطع فكانت  $٣٦$  '  $٥٣٦$  فإذا كان طول القوس  $ا ح = ٣٠$  جنزيراً — عين طول كل من المماسين الأصليين .

٣ — منحنى بسيط نصف قطره  $٣٠$  جنزير يتصل بمنحنى آخر نصف قطره  $٢٠$  جنزير وزاوية تقاطع المماس الأول مع المماس الأخير للمنحنى المركب  $١٢٠$  ° ( أى زاوية التقاطع ) وكانت الزاوية بين المماس المشترك والمماس الأصغر  $٤٠$  ° وتدرج نقطة تقاطع مماسي المنحنى المركب (  $٦٢,٠٠$  ) . عين — تدرج نقطة تلاقي المنحنيين — زاوية انحراف وتدرج النقطة الأولى على المنحنى الأول .

ولا تستعمل أى قوانين للمنحنى المركب .

٤ — المعلوم فى منحنى مركب  $ا ب$  المقادير  $\mu = ٣٠٠$  متر ،  $\nu = ٦٠٠$  متر المماس  $ا ح = ٣١٠$  متر ،  $\psi = ٨٤$  ° والمنحنى يبدأ بالجزء ذى القطر الأصغر وتدرج نقطة التقاطع  $ح$  هو (  $١٠٠$  ) — والمطلوب تعيين كل من تدرج بداية ونهاية المنحنى  $ا$  ،  $ب$  وكذلك نقطة اتصال المنحنيين  $د$  — وإذا إستبدل المنحنى المركب بآخر بسيط يمس الثلاث مستقيمات كما فى المنحنى السابق فما هو نصف القطر فى هذه الحالة .

٥ —  $ا ح$  ،  $ب ح$  محورا طريقين يتقاطعان فى  $ح$  التى لا يمكن احتلالها لذا أختيرت نقطتا  $س$  ،  $ص$  على كل من  $ا ح$  ،  $ب ح$  على الترتيب وأخذت الأرصاد التالية الخط  $ا ح$  ، انحرافه  $٤٨$  ° ،  $ب ح$  انحرافه  $١٠٨$  ° ،  $س ص$



انحرافه ٥٧٦ وطوله ٦٠ متر . ويراد ايصال الطريقين بمنحني ا ب مركب من منحنيين بسيطين متساويين في الطول ، الأول ا ب نصف قطره = ٦٠٠ متر والثاني نصف قطره = ٤٠٠ متر . فإذا كان تدريج س على ا ح هو ٨٠ جنزير فعين تدريج البداية والاتصال ب ، وطول العمود اللازم لتعيين ب بامتداد الوتر السابق بداية من ا - وإذا استبدل هذا المنحني المركب بمنحني دائري بسيط يمس الطريقين ا ح ، ح ب ، والمماس المشترك للمنحني المركب فما هو مقدار اختلاف في التدريج لنقطة البداية .

٦ - ا ب ، ب ح محورا خطى سكة حديد يزداد ايصالهما بمنحني مركب ب ح يتركب من جزئين ب و ، و ح بحيث يكون نصف قطر الجزء ب و هو ٤٠٠ متر .

فإذا كانت أحداثيات نقطة ب هي ٤٠٠ شمالاً ، ٢٠٠ شرقاً  
نقطة ح ٥٩٣ شمالاً ، ٥٣٦ شرقاً

وانحرافات الخطوط ا ب ، ب ح هما ٣٠ ٥٢٥ و ٣٠ ٥٧٦ غ على الترتيب فعين أحداثيات نقطة اتصال الجزئين و ونصف قطر الجزء الثاني بدون استعمال قوانين المنحني المركب .

الجواب : ب = ٢٥٦,١ متراً أحداثيات و ٣٧٥ شرقاً ، ٥٥١ شمالاً

٧ - ح ب مماس مشترك لجزئي منحني ا ح ، ب ب

المنحني الأول ا ح يمس ا م ، ح ب المنحني الثاني ب ب يمس ح ب ، ب ه فإذا كان انحراف الخط م ا هو ١٣ ' ٥١٦٥ والخط ب ه ٢٠ ' ٥١٣٥ .  
ب للمنحني ا ح هو ٧٥٠ متراً ، ب للمنحني ب ب هو ١٢٠٠ متراً .  
وأحداثيات نقطة ا هي ١٢٦٥,٥ شرقاً ، ١٢٠٠ جنوباً ونقطة ب هي الأصل - فعين أحداثيات نقطتي ح ، ب .

الجواب : أحداثيات ح ١٥٦٢,٥ شرقاً ، ١٣٥٨,٦ جنوباً ، ب ٥٧,٣ شرقاً ، ٥٣,١ جنوباً .



٨ — منحنى عكسى ا ب يراد توقيعه بين خطى سكة حديد متوازيين  
يعدان عن بعضهما بمقدار ٣٠ متراً فإذا كان نصف القطرين متساويين  
والمسافة بين نقطتي التماس ا ب هي ١٢٠ متراً فعين نصف القطر .

٩ — خطين متوازيين المسافة بينهما ٧٨٠ متر يراد إيصالهما بمنحنى عكسى  
ا ب ح ينحرف يمينا زاوية ٥٢٠ عن الخط الأول وكان نصف قطر الجزء ا ب  
٤٠٠ متر وتدرج ا ٢٣٤٠ متر عين نصف القطر للجزء الثانى من المنحنى  
ب ح وتدرج كل من ب ، ح .

١٠ — منحنى عكسى يصل بين خطيه ا ب ، ح و يبدأ الجزء الأول  
للمنحنى عند نقطة ب والجزء الثانى عند ح فإذا كان نصف القطرين متساويين  
وانحراف الخط ح و هو ٤١ " ١٤ ' ٥٢٠ و فعين نصف القطر لهذا  
المنحنى علماً بأن أحداثيات ا ، ب ، ح هي على التوالى .

ا	٢١٦٤٢,٨٧ شرقاً	٣٧١٦٠,٣٦ شمالاً
ب	٢١٦٧٢,٨٤ شرقاً	٣٧٢٤١,٦٢ شمالاً
ح	٢١٩٥١,٦٣ شرقاً	٣٧٣٥٠,٤٤ شمالاً

١١ — ا ب ، ح و خطان مستقيمان بحيث أن ا ، و يقعان على جانبى  
المماس المشترك ب ح — يراد توصيل ا ب ، ح و بمنحنى عكسى نصف  
قطريه متساويين فإذا علم أن الزاويتين ا ب ح ، ب ح و هما ٤٠ ' ٥١٤٨ ،  
٢٠ ' ٥١٢٩ على التوالى وطول المماس المشترك ب ح هو ١٦,٢٨ — أوجد  
نصف القطر — وتدرج نقطة التماس ونقطة التماس المشتركة علماً بأن إتجاه  
المنحنى العكسى من ا إلى و وتدرج ب هو ( ١٤٥,٢٠ ) .

١٢ — منحنى عكسى يصل بين خطى سكة حديد متوازيين المسافة بينهما  
٧٦,٥ متر فإذا كان الوتر الكلى للمنحنى الأول يساوى ثلث المسافة بين  
نقطتي التماس على الخطين وكان التدرج لنقطة ابتداء المنحنى ذى القطر الأكبر  
هو ( ١٦,٤٤ ) فما هو نصف القطر والمسافة بين نقطتي التماس إذا كانت



الزاوية المركزية للقوس  $٤٢' ٥٤٨$  — عين أيضاً نقطة التماس المشتركة وراوية انحراف توقيع آخر نقطة على المنحنى الأول والثاني من المماس .

١٣ — منحنى عكسي يصل بين خطين  $ا ب$  ،  $ح د$  ؛ بأنصاف أقطار متساوية ويمس الخطين عند  $ب$  ،  $د$  بإحداثيات قدرها كالآتي :

النقطة	أفقى	رأسي
$ب$	$١١٢٥ +$	$١٤٩١ +$
$د$	$٢٤٠١ +$	$٦٥١ +$

فإذا كان انحراف  $ا ب$  هو  $١٥٠' ٥٨٣$  و

وانحراف  $ب ح$  هو  $٣٠' ٥٧٤$  و

فعين قيمة نصف القطر .



## الباب التاسع عشر المنحنيات الانتقالية ( TRANSITION CURVES )

### مقدمة :

تتسبب من مرور وسائل النقل على المنحنيات قوة طاردة مركزية تؤثر عليها وتعمل على قذفها خارج المنحنى وللتخلص من تأثير هذه القوة يستدعى الأمر أن يعلى القضيب الخارجى فى حالة السكك الحديدية أو سطح الطريق فى الجزء الخارجى من المنحنى لكى نجعل محصلة القوة الطاردة المركزية وثقل القطار أو السيارة تعمل فى منتصف المسافة بين القضيبين ، وبالتالي تكون موزعة بالتساوى بينهما فيتلاشى تأثير القوة المركزية فى دفع القطار إلى الخارج .

وحيث أنه لا توجد ضرورة لهذه التعلية عند نقطة التماس فضلاً عن أنه لا يمكن وضع هذه التعلية دفعة واحدة بعد نقطة التماس مباشرة فيجب إذن التدرج فى التعلية بعد نقطة التماس مباشرة حتى نصل إلى المقدار المحسوب عند منتصف المنحنى ثم نبتدىء ثانية فى الأنخفاض التدريجى حتى نقطة التماس الثانية .

وحيث أن التعلية تبتدىء من الصفر عند نقطة التماس فيجب أن يبتدىء نصف قطر المنحنى من ما لا نهاية ويتناقص تدريجياً حتى تصل التعلية إلى قيمتها الكلية المحسوبة فيكون نصف القطر أصغر ما يمكن عند هذه النقطة ثم يأخذ بعدها فى الإزدياد بالتدرج ثانية تبعاً لانخفاض التعلية التدريجى إلى أن يصل إلى مقداره الأصلي عند نقطة التماس الأخرى ، ويتم ذلك بإدخال جزء من منحنى إنتقالى عند كل من نقطتى التماس للجزء الدائرى .

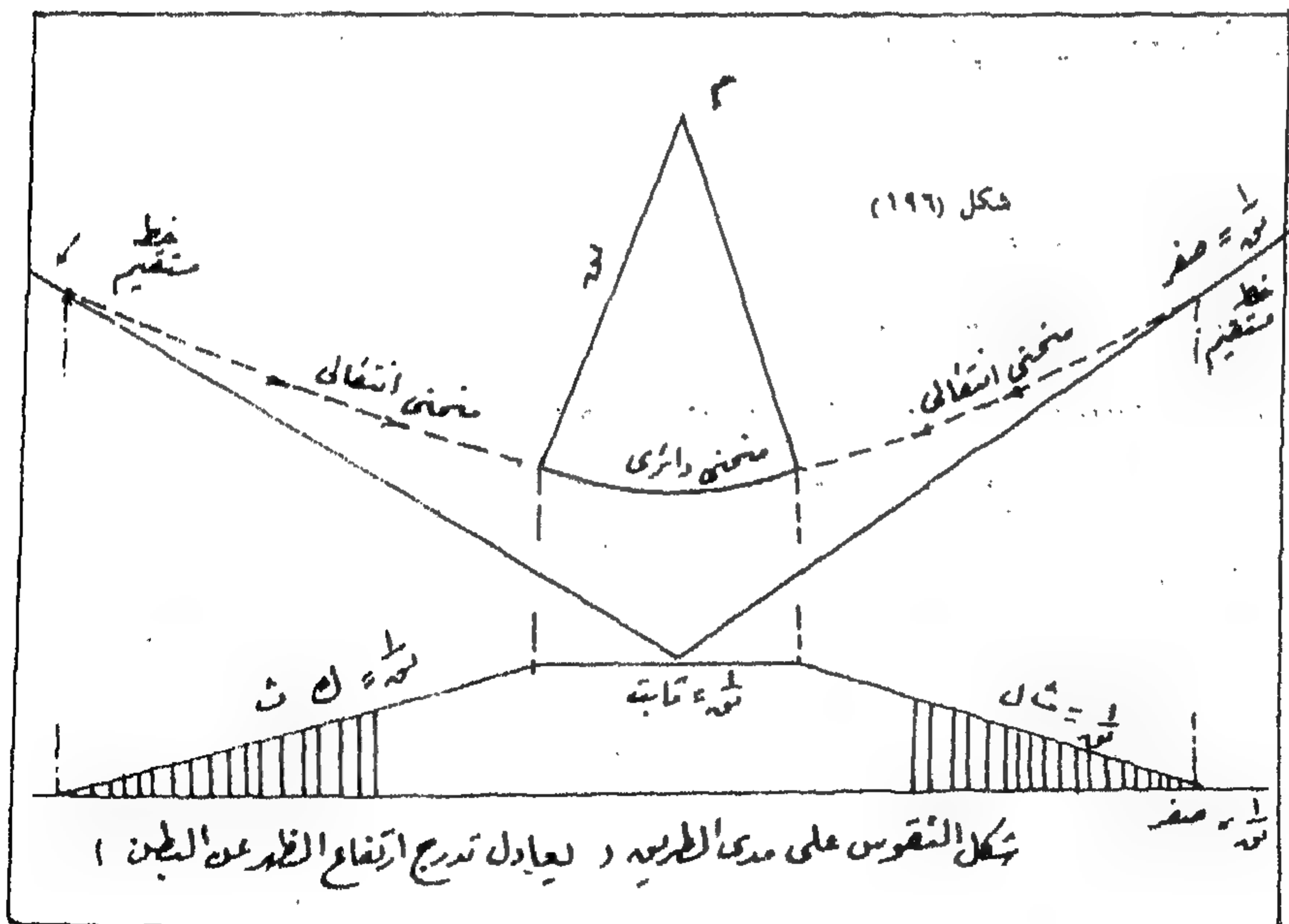
وعموماً فإن منحنى الانتقال هو منحنى غير دائرى يتغير نصف قطره تدريجياً من أى نقطة عالية إلى نقطة أخرى ، ويبدأ نصف القطر من ما لا نهاية عند نقطة التماس ويصغر تدريجياً إلى أن يصل طول نصف قطر المنحنى الأصلي عند نقطة إتصاله بهذا المنحنى الدائرى . شكل ( ١٩٦ ) .



أغراض استعمال منحنيات الأنتقال :

١ - تستعمل منحنيات الانتقال في كثير من أعمال الطرق وخصوصاً الطرق السريعة ( Highways ) والسكك الحديدية للتخلص من تغير الأنحاء الفجائي الناتج من الانتقال من خط مستقيم إلى منحنى كما في حالة المنحنيات البسيطة أو من منحنى إلى آخر يختلف عنه في نصف القطر أو في اختلاف الأنحاء كما في المنحنيات المركبة والعكسية وجعل هذا الانتقال تدريجياً يبدأ بتقوس المنحنى البسيط الأول وينتهي بتقوس المنحنى البسيط الثاني وذلك حتى لا تحدث هزات فجائية عنيفة لتولد أو تلاشي القوة الطاردة المركزية فجأة .

٢ — إيجاد وسيلة مرضية لزيادة تعلية القضيب الخارجى أو الحد الخارجى من الصفرة على المماس إلى القيمة المطلوبة على المنحنى ، أو بمعنى آخر عدم التغيير المفاجئ فى تدريج ارتفاع الظهر عن البطن فى المسافات الدائرية فيتناسب الارتفاع مع تقوس المنحنى الأنتقالى حتى يبلغ أقصاه فى المنحنى الدائرى .





٣ — تعبر أحسن الوسائل لتوسيع الطرق في المنحنيات إذ أن هذا التوسع عند المنحنيات مرغوب فيه جداً لقيادة السيارات بأمان .

٤ — تقليل النحر ومساعدته الملاحاة في القنوات .

### أدخال المنحنيات الانتقالية :

يتم إدخال المنحنيات الانتقالية في حالات كثيرة أهمها :

١ — اتصال جزء مستقيم بجزء دائري تقوسه محدود ( في المنحنى الدائري البسيط ) شكل (١٩٦) وفيه يتم إدخال جزئين انتقالين (١)، (٢)، عند نقطتي التماس ويتوسطهما الجزء الدائري . .

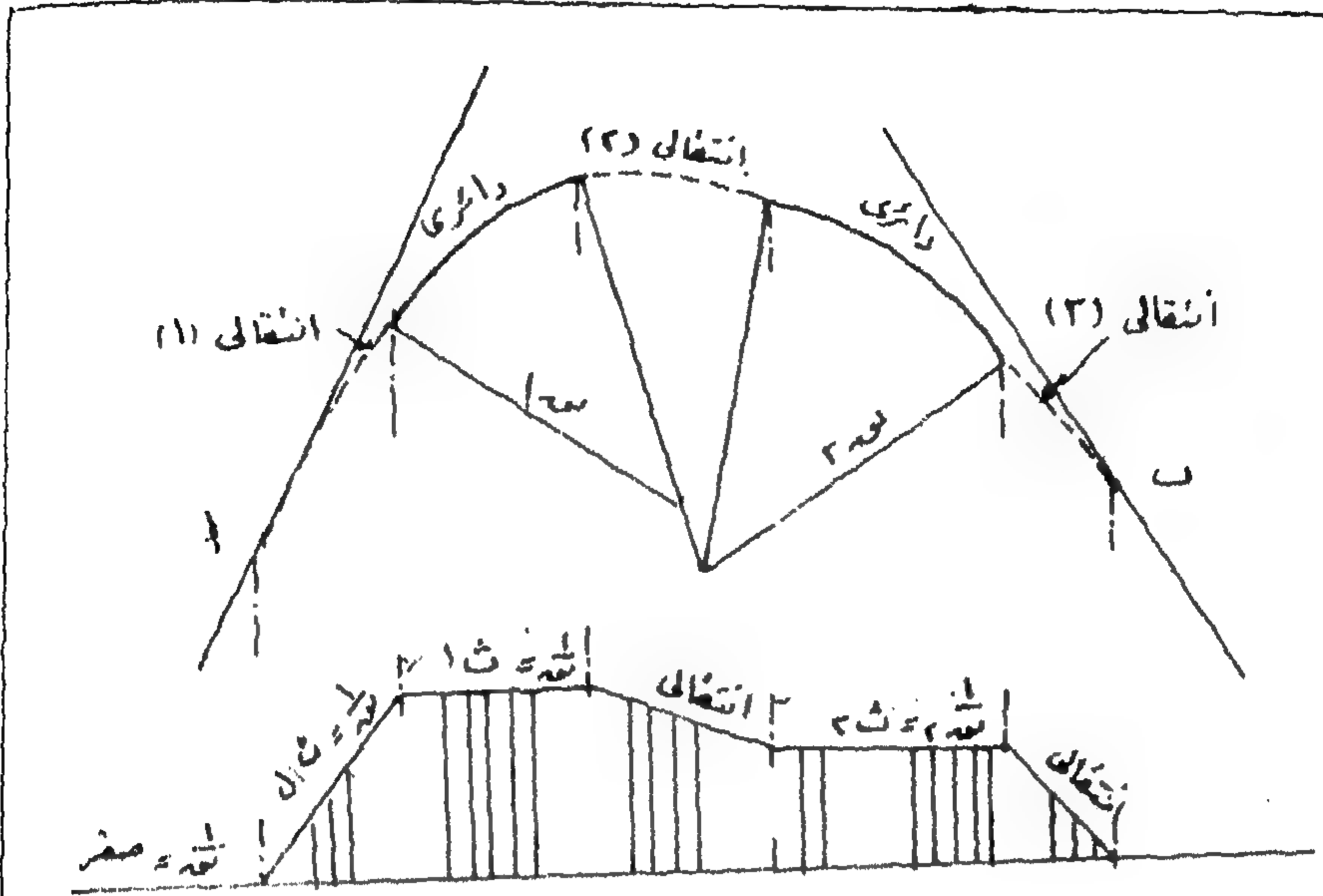
٢ — إتصال جزئين دائريين تقوسهما مختلف القيمة ( في المنحنيات المركبة ) وفيه يتم إدخال ثلاثة أجزاء انتقالية شكل (١٩٧) . والجزء الإنتقالى الأوسط (٢) يبتدىء من أحد طرفيه بنصف قطر مساو لنصف قطر القوس الدائرى المتصل بهذا الطرف وينتهى عند اتصاله بالقوس الدائرى الثانى بنصف قطر مساو لنصف قطر هذا القوس حتى لا يتغير التقوس فجأة من  $\frac{1}{r_1}$  إلى  $\frac{1}{r_2}$  .

أما الجزئين الأخيرين فهما يصلان نقطتى التماس بالجزئين الدائريين فيتم إدخال منحنى انتقالى (١) بين نقطة التماس ١ والجزء الدائرى  $\frac{1}{r_1}$  ، ويبتدىء بنصف قطر مالا نهاية عند نقطة ١ وينتهى بنصف قطر  $r_1$  ، أما الجزء الانتقالى (٣) فيتم إتصاله بين الجزء الدائرى الثانى  $\frac{1}{r_2}$  ويبتدىء عنده بنصف قطر  $r_2$  وينتهى عند نقطة التماس الثانية ب بنصف قطر لا نهائى .

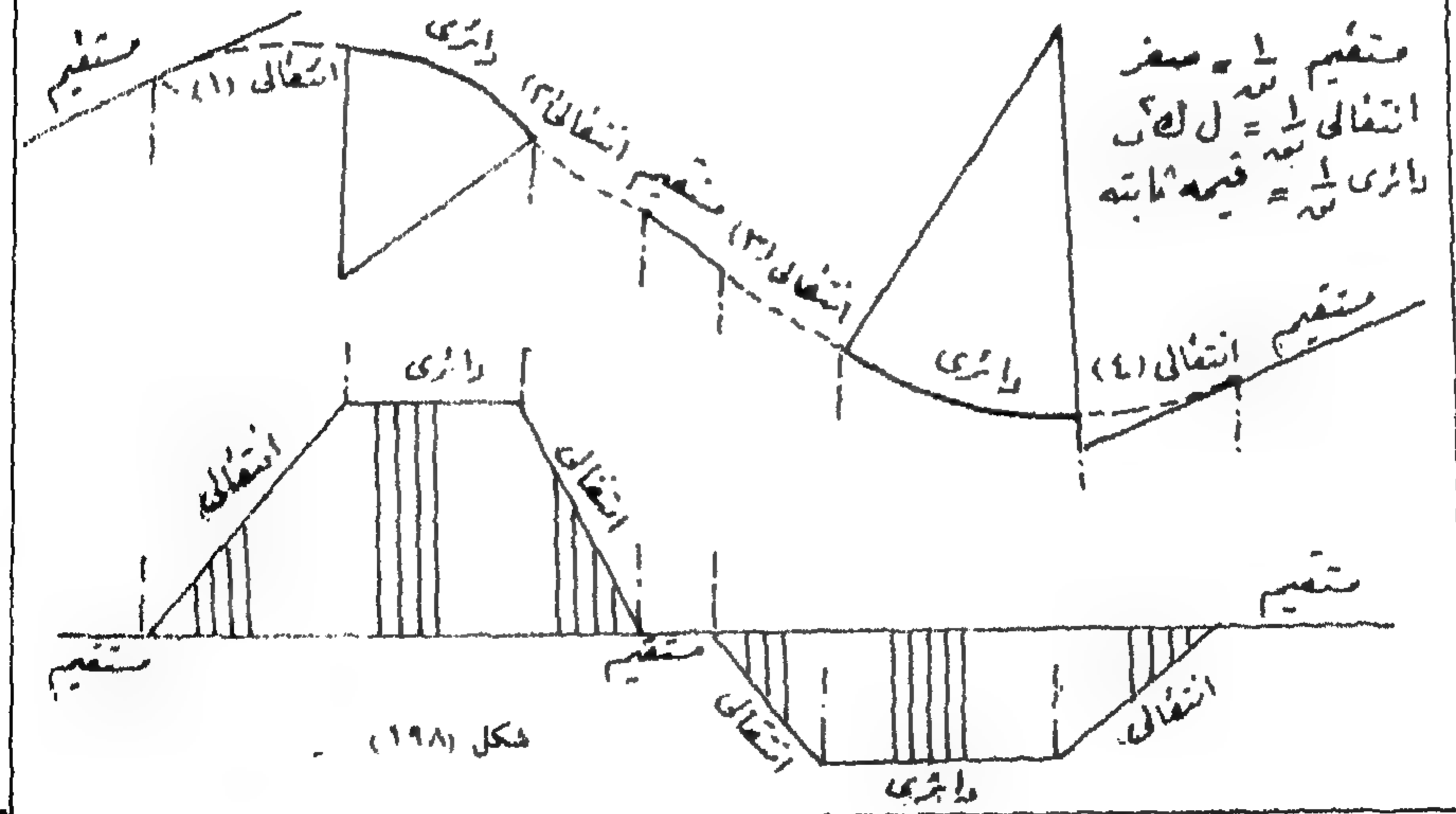
٣ — اتصال جزئين دائريين تقوسهما مختلف القيمة والاتجاه ( في المنحنيات العكسية ) وغرض المنحنيات الانتقالية في هذه الحالة هو ربط أجزاء المنحنى



العكسي بحيث لا يتغير التقوس مقداراً وإتجهاً فجأة من قيمة إلى أخرى . ففي شكل (١٩٨) نجد أننا أدخلنا أربعة أجزاء أنتقالية والغرض منها هو :



شكل (١٩٧)



شكل (١٩٨)



الجزء ١ ، ٤ : لاتصال نقطتي التماس بالجزئين الدائريين . ونظراً لأن الجزئين الدائريين يختلف اتجاه تقوسهما بالنسبة للمماس المشترك فقد وضع جزء مستقيم بينهما وتم إدخال جزئين انتقاليين ٢ ، ٣ لتلافي تغيير اتجاه التقوس .

٤ — اتصال جزئين مستقيمين وتعتبر هذه حالة خاصة من الحالة الأولى حيث لا يتوسط الجزئين الانتقاليين منحنى بسيط ويتم هذه الحالة عند صفر الجزء الدائري شكل (١٩٩) .

٥ — اتصال ثلاث مستقيمات وهي حالة خاصة من الحالة الثالثة حيث لا يتوسط الجزئين الانتقاليين منحنى عكسي ويتم هذه الحالة عند صفر الجزئين البسيطين الدائريين المكونين للمنحنى العكسي شكل ( ٢٠٠ ) .

٦ — اتصال طريقين بعدة منحنيات انتقالية في مستويات مختلفة شكل (٢٠١) .

### شروط إدخال المنحنى الانتقالي :

يشترط في حالة إدخال المنحنى الانتقالي على أجزاء المستقيم والمنحنيات الدائرية ما يلي :

- ١ — تماس المنحنى الانتقالي عند اتصاله بالجزء المستقيم .
- ٢ — تقوس المنحنى الانتقالي يساوي تقوس الجزء المستقيم يساوي صفر .
- ٣ — معدل تغير التقوس في المنحنى الانتقالي يساوي معدل التغير في ارتفاع الظهر عن البطن فنلاحظ في الأشكال ( ١٩٦ — ١٩٨ ) أن شكل التقوس على مدى الطريق يعادل تدرج قيمة التعلية .

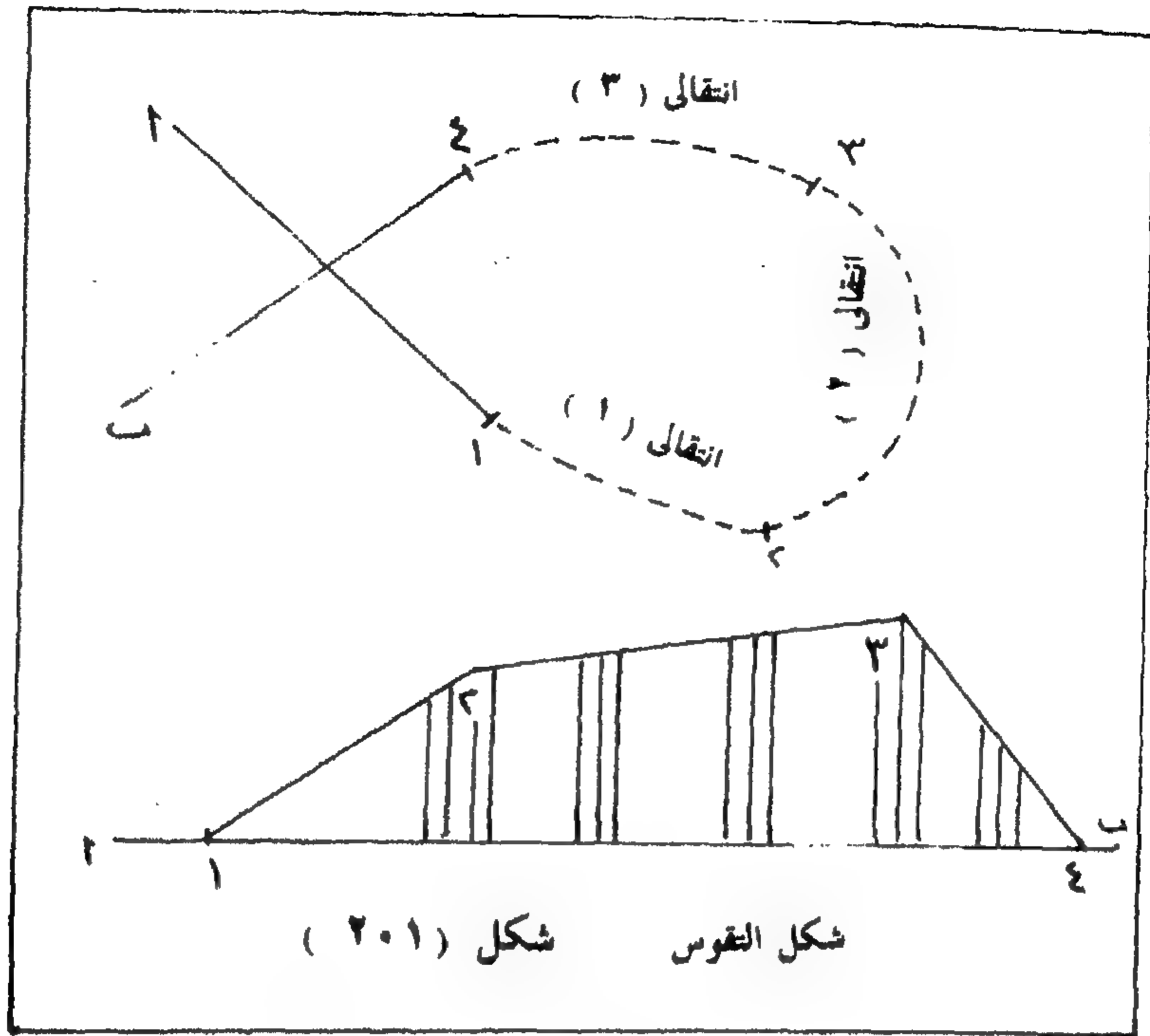
٤ — تبلغ التعلية ( Superelevation ) أقصاها عند اتصال المنحنى الانتقالي بالمنحنى الدائري .

٥ — تقوس المنحنى الانتقالي يساوي تقوس المنحنى الدائري عند نقطة تلاقيهما .









### أنواع المنحنيات الانتقالية

هناك منحنيات كثيرة يتوافر فيها شرط تغير نصف قطر القوس تدريجياً ولكل منها معادلة رياضية خاصة ، وهذه المنحنيات غير منتظمة القوس وجميعها من ذوات الحدود المسلسلة التي يتعذر تطبيقها في الحالات العملية ، والأجزاء الأولى من هذه المنحنيات لا تختلف في الشكل عن المنحنى الانتقالي النموذجي إلا اختلافاً طفيفاً . وأهم أنواع المنحنيات الانتقالية المستخدمة هي :

- ١ — منحنى الانتقال الحلزوني .
- ٢ — القطع المكافئ التكعيبي .
- ٣ — منحنى برنولي القطبي .

والمنحنيان الأولان هما الأكثر استعمالاً .

وتنقسم دراسة منحنيات الانتقال إلى جزئين أساسيين .



أولاً — أجزاء المنحنى وعناصره ومعادلاته .  
 ثانياً — تخطيط المنحنى وربطه بمحاوره مع أجزاء المنحنيات الأخرى  
 وتوقيعه .

### ١ — منحنى الانتقال الحلزوني ( Transition Spiral Clothoid )

يستعمل هذا المنحنى في تخطيط الطرق السريعة ( Highways ) وهو أدق المنحنيات جميعها . وأهم خصائصه أنه ينطبق على خط سير السيارة وهي سرعة ( ١٢٠ — ١٨٠ كم/ساعة ) بحيث يتساوى مقدار إنحراف عجلة القيادة مع زاوية تغير هذا المنحنى عند سرعة ثابتة .

#### معادلة المنحنى الحلزوني :

معلوم أن تقوس الخط المستقيم هو صفر .

$$\text{حيث } \omega = \text{مالا نهاية} \quad \therefore \frac{1}{\omega} = \text{صفر}$$

$$\text{وجزاء المنحنى الدائري فإن تقوسه ثابت} \quad \frac{1}{\omega} = \text{ثابت}$$

أما المنحنى الحلزوني فهو منحنى يتناسب تقوسه مع طول المنحنى ، فإذا كان تقوس المنحنى في نقطة ما هو  $\frac{1}{\omega}$  وطول المنحنى عند هذه النقطة هو  $L$  .

فيكون :

$$\omega L = \text{ثابت}$$

وحيث أن  $\omega$  طول ،  $L$  طول فيمكن كتابة ثابت المعادلة على هيئة  $k^2$  .

(١٤٥) .....

$$\therefore \omega L = k^2 = \text{ثابت}$$

حيث  $k$  ثابت المنحنى ( Parameter ) .



أى أن طول المنحنى عند أى نقطة ، يتناسب مع مقدار التقوس عند هذه النقطة . ك يسمى ثابت المنحنى .

$$\frac{\delta}{L} = \frac{L}{M^2} \therefore \frac{\delta}{L} = \frac{1}{M^2} \text{ التقوس}$$

$$\delta + \frac{L^2}{M^2} = \delta \therefore \frac{(L^2)}{M^2} = 0$$

عندما تكون  $L = 0$  صفر فإن  $\delta = 0$  صفر ،  $\delta = 0$  صفر .

$$\frac{L^2}{M^2} = 0$$

(١٤٦) .....

$$L^2 = M^2 \cdot 0 \therefore L^2 = 0$$

وهذه هي المعادلة القطبية للمنحنى الحلزوني .

وفي شكل (٢٠٣) :

$$M^2 = L^2 \cdot 0$$

ويمكن تحويل جميع المنحنيات الحلزونية إلى منحنى أولى حيث  $L^2 = 1$  نكون معادلته :

(١٤٧) .....

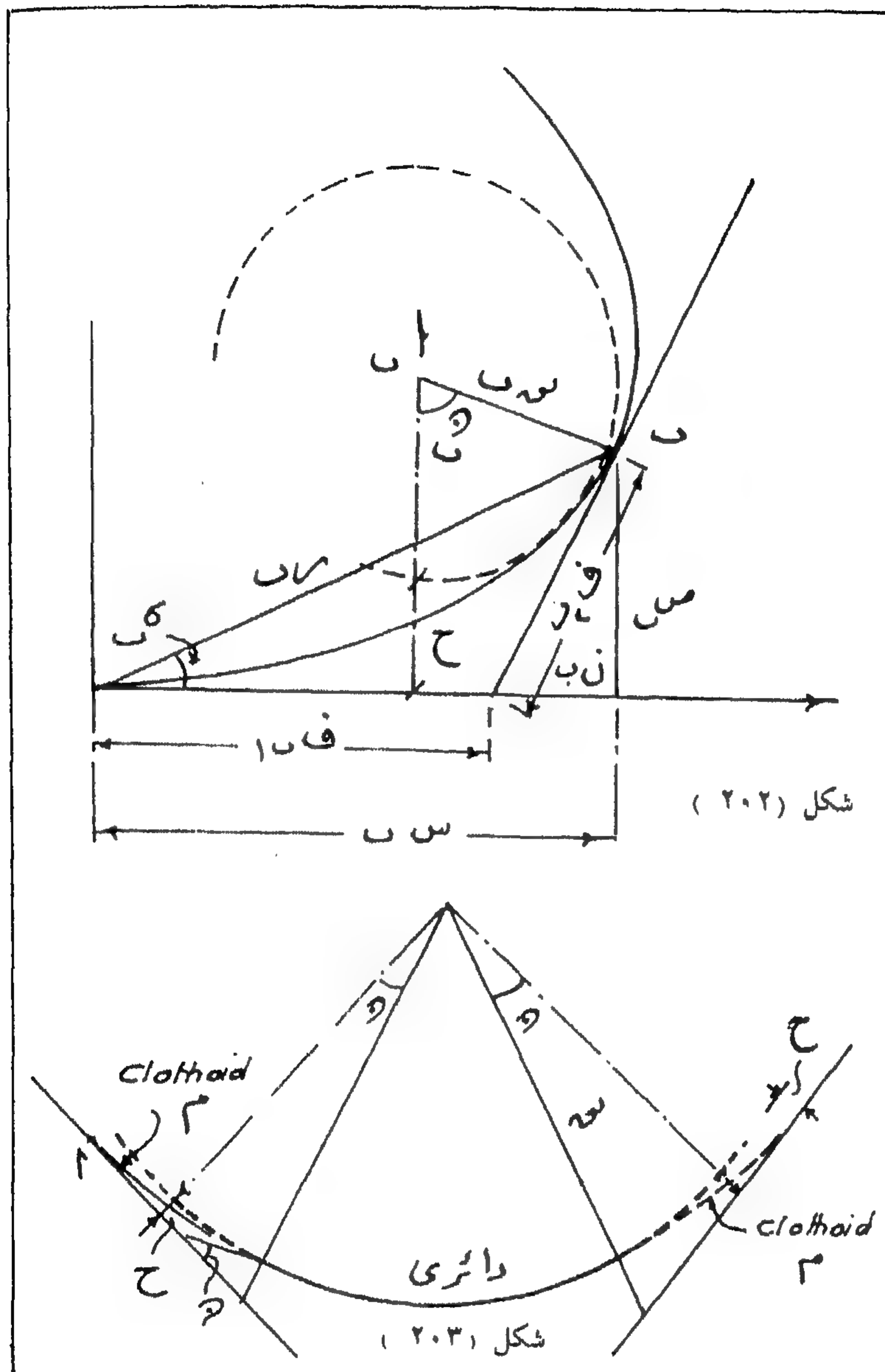
$$M^2 = L^2 \cdot 1$$

، ذلك لسهولة أستنتاج أجزاء أى منحنى أنتقالى بأى أطوال وأقطار .

أجزاء المنحنى الحلزوني الأصلى :

لدينا فى شكل (٢٠٢) :







- و = نصف قطر المنحنى الدائرى .
- و = نصف قطر المنحنى الإنتقالى عند أى نقطة ( ب ) تبعد لـ  
عن نقطة الأصل ا .
- ل = طول المنحنى من ا إلى ب .
- ه = الزاوية بين المحور س ا و مماس المنحنى الإنتقالى عند ب .
- س ، ص = إحداثيات نقطة ب .
- م = الطول الكلى للمنحنى الإنتقالى .
- ح = مقدار الزحزحة .
- ه = زاوية الأزاحة =  $\frac{م}{٢ س}$
- د = زاوية الوتر .
- س = الوتر من نقطة الأصل إلى ب .
- ف<sub>١</sub> ، ف<sub>٢</sub> = طول المماسين .

أجزاء المنحنى الحلزوى الأولى :

لدينا فى شكل (٢٠٢) :

$$\begin{aligned} و_١ &= ١ \\ و_٢ &= ٢ ه \\ و_١ &= \frac{١}{٢ س_٢} = \frac{و_٢}{٢} ه \\ س &= و_١ ل_١ جتا ه \\ ص &= و_١ ل_١ جا ه \\ س &= و_١ ل_١ \sqrt{١ - \frac{١}{٢} جتا ه} = و_١ ل_١ \sqrt{١ - \frac{١}{٢} جتا ه} \end{aligned}$$



$$= \sqrt{2} ( \dots + \frac{2}{10} - 1 )$$

$$= \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix} \text{ صفر جا } \frac{2}{2} \text{ و } 1$$

$$= \sqrt{2} ( \dots + \frac{2}{42} - \frac{2}{2} )$$

$$\begin{cases} \text{ص م} = \text{ص} - \text{م} \text{ جتا } 5 \\ \text{س م} = \text{س} - \text{م} \text{ جا } 5 \\ \text{ح} = \text{ص م} - \text{م} \\ \text{ف}_1 = \frac{\text{ص}}{\text{جا } 5} \end{cases} \text{ إحدائيات المركز}$$

$$\begin{aligned} \text{ف}_2 &= \text{س} - \text{ص} \text{ ظنا } 5 \\ \text{ر} &= \sqrt{\text{س}^2 + \text{ص}^2} \\ \sigma &= \frac{\text{ظنا } 1 \text{ ص}}{\text{س}} \end{aligned}$$

أجزاء المنحنى الأصلي :

ومعادلة المنحنى باستعمال الإحداثيات الكرتيزية ( باعتبار  $a$  س هو محور السينات ، ومحور الصادات متعامداً على  $a$  س ) هي :

$$\text{س} = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix} \text{ صفر جتا } \frac{2}{2} \text{ و } 1 = \frac{2}{40} - \frac{2}{40}$$

$$+ \dots - \frac{2}{3456} \dots$$

$$\text{ص} = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix} \text{ صفر جا } \frac{2}{2} \text{ و } 1 = \frac{2}{336} - \frac{2}{6}$$



$$\dots\dots\dots + \frac{J^2}{4224 \text{ ك}} \dots\dots\dots$$

أو :

$$\text{ص} \dots\dots\dots + \frac{J^2}{3 \times 7 \cdot (2 \text{ م ص})^3} \dots\dots\dots$$

(١٤٨) .....

$$\text{س} - J - \frac{J^2}{2 \times 5 \cdot (2 \text{ م ص})^2} + \frac{J^2}{4 \times 9 \cdot (2 \text{ م ص})^4} \dots\dots\dots$$

(١٤٩) .....

وعملياً تحسب س ، ص كالتالى .

$$\text{س} = J \left( 1 - \frac{J^2}{4 \cdot 2^2} \right)$$

$$\text{ص} = \frac{J^2}{6 \cdot 2^2} \left( 1 - \frac{J^2}{56 \cdot 2^2} \right)$$

(١٥٠) .....

ويمكن كتابة المعادلات السابقة بالنسبة للمنحنى الأول ذى الثابت الوحدة بوضع  $K^2 = 1$  .

العلاقة بين ثابت المنحنى والسرعة على الطريق :  
هناك علاقة ثابتة بين ثابت المنحنى والسرعة وهى :







وجداول (٢٥) يبين نموذجاً للجداول المستعملة في إيجاد عناصر المنحنى الحلزوني .

ملحوظة : ص م غير موجودة بالجداول حيث أنها تساوى دائماً الزحزحة مضافاً إليها ١ .

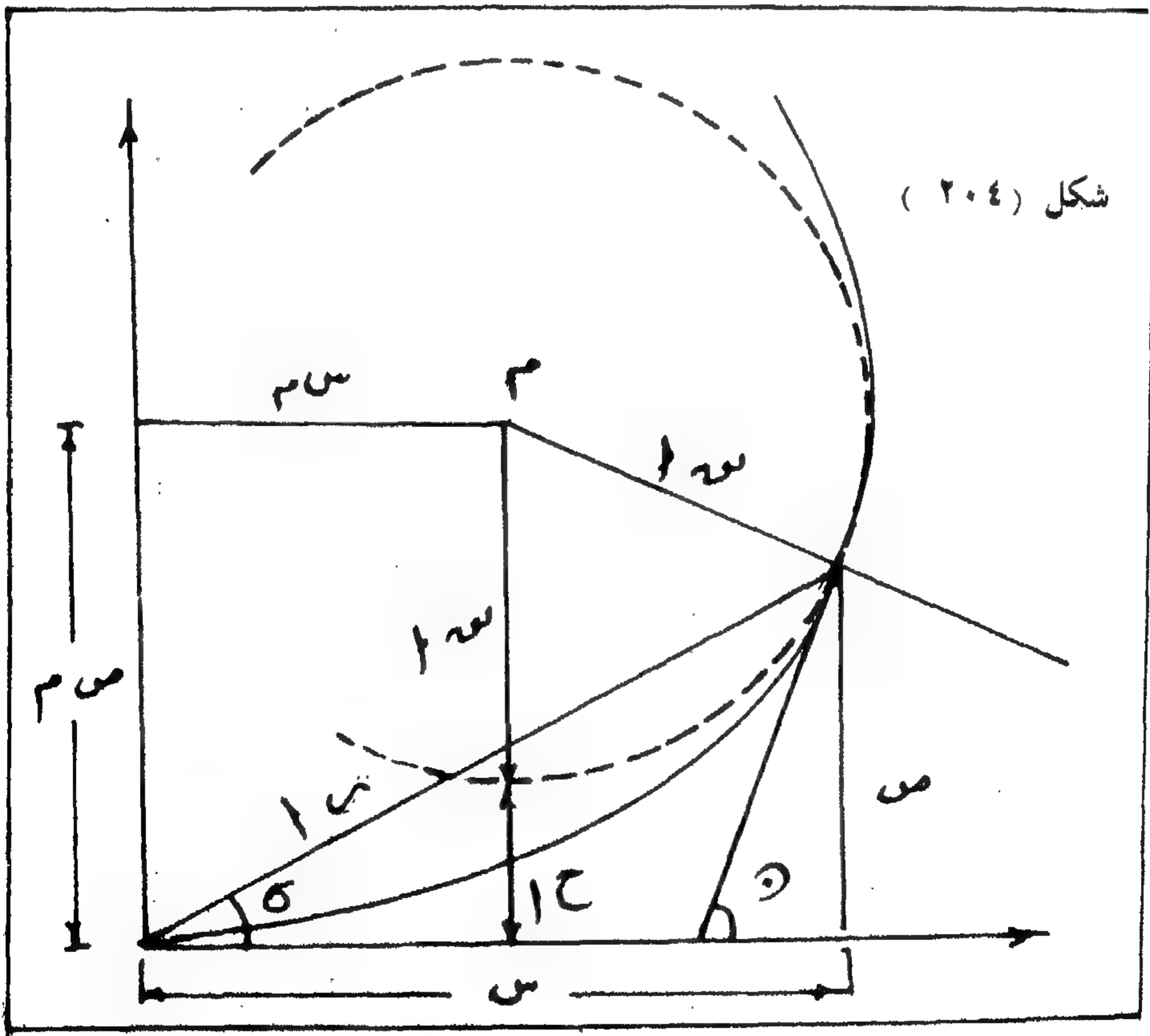
ويحوى الجدول العناصر التالية :

$$\frac{c}{s} = \lambda \quad N = 1000 \dots L$$

$$\frac{f}{s} = \xi$$

هـ ، ل ، س ، ص ، س م ، س ١ .

ح ، س ١ ، س .





جدول ( ٢٥ )

س	ل	ن	ف	λ	N
٠ ٢٣٤٩٨٦٩	٠ ٢٥٠٠	٣ ٣٠ ٣٤	٠ ١٢٢٥٠٠	٦٢٣	٢٥٠
٩٩٨	١٠	١ ١٢	٧٠١	٧	
٠ ٢٣٥٤٨٦٠	٠ ٢٥٥٠	٣ ٣٦ ٣٧	٠ ١٢٦٠٢٥	٦٦٢	٢٥٥
٩٩٧	١٠	١ ١٣	٧١١	٧	
٠ ٢٥٩٨٤٩	٠ ٢٦٠٠	٣ ٤٢ ٤٦	٠ ١٢٩٦٠٠	٧٠٠	٢٦٠
٩٩٨	١٠	١ ١٤	٧٢١	٨	
٠ ٢٦٢٨٣٨	٠ ٢٦٥٠	٣ ٤٩ ٠٠	٠ ١٣٣٢٢٥	٧٢٩	٢٦٥
٩٩٨	١٠	١ ١٥	٧٣١	٩	
٠ ٢٦٦٩٨١٧	٠ ٢٦٧٠٠	٣ ٥٥ ١٩	٠ ١٣٦٩٠٠	٧٨١	٢٦٧
٩٩٧	١٠	١ ١٦	٧٤١	٨	
٠ ٢٦٨٤٨١٥	٠ ٢٦٧٥٠	٤ ٠١ ٤٣	٠ ١٤٠٦٢٥	٨٢٤	٢٦٧٥
٩٩٧	١٠	١ ١٧	٧٥١	٨	
٠ ٢٦٩٩١٠٢	٠ ٢٦٨٠٠	٤ ٠٨ ١٢	٠ ١٤٤٤٠٠	٨٦٩	٢٦٨٠
٩٩٧	١٠	١ ١٩	٧٦١	٩	
٠ ٢٦٨٤٦٩٨	٠ ٢٦٨٥٠	٤ ١٤ ٤٧	٠ ١٤٨٢٢٥	٩١٥	٢٦٨٥
٩٩٧	١٠	١ ١٩	٧٧١	٩	
٠ ٢٦٩٧٧٧٤	٠ ٢٦٩٥٠	٤ ١١ ٢٦	٠ ١٥٢١٠٠	٩٦٤	٢٦٩٠
٩٩٨	١٠	١ ٢١	٧٨١	١٠	
٠ ٢٦٩٤٧٦٠	٠ ٢٦٩٥٠	٤ ٢٨ ١١	٠ ١٥٦٠٢٥	١٠١٤	٢٦٩٥
٩٩٧	١٠	١ ٢٢	٧٩١	١٠	
٠ ٢٦٩٩٧٤٤	٠ ٢٦٠٠٠	٤ ٣٥ ٢١	٠ ١٦٠٠٠٠	١٠٦٦	٢٦٠٠
٩٩٧	١٠	١ ٢٣	٨٠١	١١	



( تابع جدول ۲۵ )

ص	س م	م ا	ح	س	σ
			۱۰۰		
۰۰۰۷۱۰۴	۰۰۱۷۴۹۷۸	۲۰۸۵۷۱۴۳	۱۷۲۶	۰۰۳۴۹۹۴۲	۱ ۱۰ ۱۱
۶۱	۵۰۰	۸۱۴۰	۱۵	۹۹۹	۲۴
۰۰۰۷۴۵۴	۰۰۱۷۷۴۷۷	۲۰۸۱۶۹۰۱	۱۳۶۳	۰۰۳۵۴۹۳۷	۱ ۱۲ ۱۲
۶۵	۴۹۹	۷۹۱۲	۱۷	۹۹۹	۲۵
۰۰۰۱۱۷۴	۰۰۱۷۹۹۷۵	۲۰۷۷۷۷۷۸	۱۹۴۴	۰۰۳۵۹۹۲۳	۱ ۱۴ ۱۵
۶۵	۵۰۰	۷۶۹۵	۱۶	۹۹۹	۲۵
۰۰۰۱۱۰۲	۰۰۱۹۲۴۷۲	۲۰۷۳۹۷۲۶	۲۰۲۵	۰۰۳۶۴۹۲۸	۱ ۱۶ ۲۰
۶۷	۵۰۰	۷۴۳۶	۱۷	۹۹۹	۲۵
۰۰۰۸۴۳۹	۰۰۱۸۴۹۷۱	۲۰۷۰۲۷۰۳	۲۱۱۰	۰۰۳۶۹۹۲۳	۱ ۱۸ ۲۶
۶۹	۵۰۰	۷۲۳۵	۱۷	۹۹۹	۲۶
۰۰۰۸۷۸۱	۰۰۱۸۷۴۶۹	۲۰۶۶۶۶۳۷	۲۱۹۷	۰۰۳۷۴۹۱۸	۱ ۲۰ ۲۴
۷۰	۵۰۰	۷۰۹۳	۱۷	۹۹۹	۲۶
۰۰۰۹۱۴۲	۰۰۱۸۹۹۶۷	۲۰۶۳۱۵۷۹	۲۲۸۲	۰۰۳۷۹۹۱۸	۱ ۲۲ ۴۱
۷۲	۵۰۰	۶۹۰۷	۱۸	۹۹۹	۲۶
۰۰۰۹۵۰۷	۰۰۱۹۲۴۶۵	۲۰۵۹۷۴۰۳	۲۳۷۷	۰۰۳۸۴۹۰۶	۱ ۲۴ ۵۵
۷۴	۵۰۰	۶۷۲۹	۱۸	۹۹۹	۲۷
۰۰۰۹۸۸۱	۰۰۱۹۴۹۶۳	۲۰۵۶۴۱۰۳	۲۴۷۱	۰۰۳۸۹۹۰۰	۱ ۲۷ ۰۹
۷۷	۴۹۹	۶۵۵۸	۱۹	۹۹۸	۲۶
۰۰۱۰۲۶۷	۰۰۰۹۷۴۶۰	۲۰۵۳۱۶۴۶	۲۵۶۷	۰۰۳۹۴۸۹۳	۱ ۲۹ ۰۲
۷۸	۵۰۰	۶۵۹۳	۲۰	۹۹۹	۲۸
۰۰۱۰۶۶۲	۰۰۱۹۹۹۵۸	۲۰۵۰۰۰۰۰	۲۶۶۶	۰۰۳۹۹۸۸۶	۱ ۳۱ ۴۰
۸۰	۴۹۹	۶۲۳۴	۲۰	۹۹۹	۲۷



## أمثلة

مثال ١ - منحنى دائرى نصف قطره ٤٠٠ متر يراد إيصاله بمحور طريق مستقيم بواسطة منحنى أنتقال حلزوني طوله ٦٠ مترا . عين إحداثيات نقطة تلاقى المنحنى الحلزوني بالدائرى .

$$س = ٤٠٠ \text{ متر} \quad م = ٦٠,٠ \text{ مترا}$$

ومنها توجد قيمة العلاقة القطرية  $ج$  .

$$ج = \frac{م}{س} = \frac{٦٠}{٤٠٠} = ٠,١٥٠٠٠$$

ومن الجدول : إحداثيات المنحنى الأولى :

$$س = ٠,٣٨٧٠٨$$

$$ص = ٠,٠٠٩٦٨$$

$$ل = ٠,٣٨٧٣$$

ولإيجاد  $ك$  :

$$ك = \frac{م}{ل} \quad \therefore ك = \frac{٦٠}{٠,٣٨٧٣} = ١٥٥$$

الأحداثيات المطلوبة هي :

$$س = ٠,٣٨٧٠٨ \times ١٥٥ = ٥٩,٩٩ \text{ م}$$

$$ص = ٠,٠٠٩٦٨ \times ١٥٥ = ١,٥٠ \text{ م}$$

ويمكن حل هذا المثال من العناصر الأولية باستخدام المعادلة الكارتيزية بأخذ حدين فقط منهما كالآتى :

$$س = ٤٠٠ \text{ متر} \quad م = ٦٠,٠٠$$



$$= \text{ص} \frac{\frac{7J}{(2 \text{ م ص})^3 \times 7}}{\frac{76.}{(400 \times 60 \times 2)^2 \times 3 \times 7}} =$$

$$= \frac{6}{4} - \text{صفر}$$

$$= 1,5 \text{ متر}$$

$$\text{س} = J - \frac{J^{\circ}}{4. \text{ لك}}$$

$$= \frac{56.}{(24000)^4} - 60 =$$

$$= 60 - 0,02 = 59,98 \text{ متراً.}$$

وباستعمال العلاقة العملية :

$$\text{س} = J \left( \frac{J}{4. \text{ ص}} - 1 \right)$$

$$\text{ص} = \frac{J}{6. \text{ ص}} \left( \frac{J}{56. \text{ ص}} - 1 \right)$$

نجد أن :

$$\text{س} = 60 \left( \frac{76.}{2400 \times 4.} - 1 \right)$$

$$= 60 \times 0,9999.62 = 59,99 \text{ متراً}$$

$$\text{ص} = \frac{76.}{400 \times 6} \left( \frac{76.}{2400 \times 56} - 1 \right)$$



$$= 1,5 \times 0,999098$$

$$= 1,499 \text{ متر}$$

وهي نفس النتيجة التي حصلنا عليها بأستعمال الجداول .

مثال ٢ — عين أجزاء المنحنى الأنتقالى الحلزوني بين محور طريق مستقيم وآخر دائري نصف قطره ٤٠٠ متر إذا كانت السرعة المسموحة على الطريق لا تتجاوز ٩٠ كم/ساعة .

**الحل :**

نوجد أولاً ثابت المنحنى :

$$K = 0,207 \sqrt[3]{E} = 0,207 \sqrt[3]{90} = 176,7$$

$$S_1 = \frac{400}{176,7} = \frac{S}{K} = 2,263$$

ومن الجدول عند سطر ٤٤١ نجد أن :

$$h = 17'' 34' 00''$$

$$S_1 = 0,4406$$

$$L_1 = 0,441$$

$$C_1 = 0,0035$$

$$V_1 = 0,0143$$

$$\sigma = 25'' 51' 00''$$

$$S_1 = 0,4407$$

وبالضرب في ك أى ١٧٦,٧٠ :

$$S = 77,85 \text{ م}$$

$$h = 17'' 34' 00''$$

$$S = 77,87 \text{ م}$$

$$\sigma = 25'' 51' 00''$$

$$V = 2,5268 \text{ م}$$

$$C = 0,618$$

$$M = 77,9247 \text{ م}$$



ويمكن حل هذا المثال من العناصر الأولية باتباع خطوات الحل الآتية :

١ — إيجاد طول المنحنى م مباشرة من العلاقة .

$$M = L^2$$

٢ — إيجاد س ، ص من المعادلات الكارتيزية .

٣ — إيجاد طول الوتر م من المعادلة .

$$M = \sqrt{S^2 + V^2}$$

٤ — إيجاد  $\sigma$  من المعادلة .

$$\sigma = \frac{V}{S} \text{ ظا }^{-1}$$

٥ — إيجاد الزاوية هـ من المعادلة .

$$M^2 = L^2 \text{ هـ} \quad \text{أو} \quad M = L \text{ هـ}$$

٦ — وكذلك إيجاد ف<sub>١</sub> ، ف<sub>٢</sub> كالآتي :

$$M = L^2$$

$$M = \frac{L^2}{400} = \frac{1176,7}{400} = 2,94175$$

$$L = \frac{S}{40} \left( \frac{L}{S} - 1 \right) \quad \text{— ٢ س}$$

$$L = \frac{S}{40} \left( \frac{L}{S} - 1 \right) = \frac{2,94175}{40} = 0,07354375$$

$$L = 77,92 \text{ م}$$

$$V = \frac{S}{6} \left( \frac{L}{S} - 1 \right) = \frac{0,07354375}{6} = 0,01225729$$



$$\left( \frac{278}{400 \times 06} - 1 \right) \frac{278}{400 \times 6} =$$

$$= 2,03 \text{ م}$$

$$\sqrt{278 + 278} = 2 - 3$$

$$\sqrt{2,03 + 277,92} =$$

$$= 77,96 \text{ م}$$

$$\frac{\text{ظا} 1}{\text{ص}} = 5 - 4$$

$$= 34'' 51' 0.1$$

$$= 0.975 = \frac{2}{2} = 5 - 5$$

$$= 21'' 35' 0.5$$

مثال ٣ - منحنى دائرى نصف قطره ٣٠٠ متر . عين أجزاء المنحنى الانتقالى بين هذا المنحنى الدائرى وبين المستقيم . إذا كان مقدار الزحزحة = ٧٥ سم .

الحل : شكل ( ٢٠٥ ) :

$$\text{النسبة } \lambda = \frac{\sum}{\text{ص}} = \frac{0.75}{300} = 0.0025$$

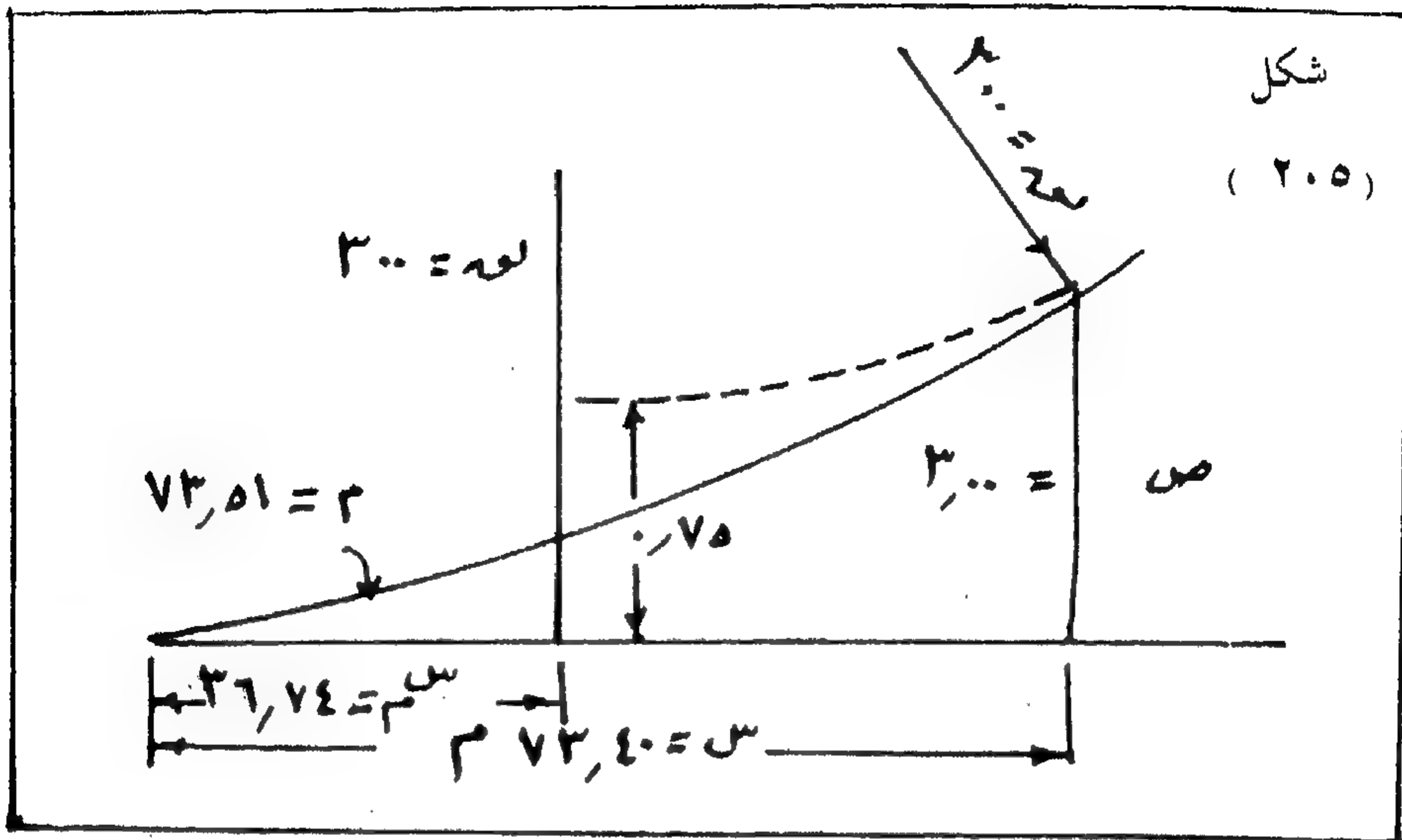
ومن الجدول أجزاء المنحنى الأولى :

$$L = 0.495$$

$$\text{ص م} = 0.24738$$

$$\text{ص} = 2.0202$$





$$٥ = ١٠ " ٠.٧٠٠١$$

$$٠,٤٩٤٢٦ = س$$

$$٠,٠٢٠١٩ = ص$$

$$١٤٨,٥٠ = \frac{٣٠٠}{٢,٠٢٠٢} = ثابت المنحنى ك$$

ومنها م = طول المنحنى = ٧٣,٥١ م ، ص = ٣,٠٠ م  
 س = ٧٣,٤٠ م ، س = ٣٦,٤٧ م

مثال ٤ — منحنى أنتقالى طوله ٢٠٠ متر وثابته ك = ٢٥٠ ، يراد إدخاله بين منحنى دائرى ومستقيم . والمطلوب هو :

- ١ — نصف قطر المنحنى الدائرى .
- ٢ — مقدار الزحزحة اللازمة .
- ٣ — أحداثيات نقطة اتصاله مع المنحنى الدائرى .
- ٤ — بعد مركز المنحنى الدائرى عن المستقيم .



الحل :

$$\frac{م}{ل} = ك$$

$$\therefore ل = \frac{م}{ك} = \frac{٢٠٠}{٢٥٠} = ٠,٨٠٠$$

ومن الجدول :

$$ص = ٠,٠٨٤٧٢١$$

$$١,٢٥ = ح$$

$$س م = ٠,٢٩٨٦٣$$

$$٠,٠٢١٢٥٥ = ح$$

$$س = ٠,٧٤١٨٤٧$$

وبالضرب في ك = ٢٥٠ .

$$نصف القطر ح = م ك = ٣١٢,٥٠$$

$$الإزاحة ح = ٢٥٠ \times ٠,٠٣١٢٥٥ = ٥,٣١ م$$

$$أحداثيات النقطة س = ١٩٧,٩٦ ، ص ٢١,١٨$$

$$س م = ٩٩,٦٠$$

ويمكن حل هذا المثال من العناصر الأولية والمطلوب فيه :

$$١ - ح = ٢ - ح = ٣ - س ، ص = ٤ - س م ، ص م$$

لإيجاد ح

$$م = ح ك$$

$$ومنها ح = \frac{ك}{م} = \frac{ك(٢٥٠)}{٢٠٠} = ٣١٢,٥ \text{ متراً}$$

$$س = م (١ - \frac{م}{٤٠})$$



$$ص = \frac{م^2}{ص \ 6} (1 - \frac{م^2}{ص \ 56})$$

$$س = 200 (1 - \frac{200}{312,5 \times 40})$$

$$= 200 (1 - 0,0102) = 197,96 \text{ متراً}$$

$$ص = \frac{200}{312,5 \times 6} (1 - \frac{200}{312,5 \times 56})$$

$$= 21,19 \text{ متراً}$$

لإيجاد ح ، س م لابد لنا من تعيين قيمة الزاوية هـ .

$$\text{الزاوية هـ} = \frac{م}{2ك} = \frac{200}{2250 \times 2} = 0,32 \text{ دائري .}$$

$$= 38^{\circ} 20' 18'' \text{ جتا } 0,94618 = 0,3147 \text{ جا هـ}$$

وبتطبيق المعادلات = ص + س جتا هـ .

$$س م = س - س جا هـ$$

$$ح = ص م - س$$

يمكن إيجاد بقية المقادير

### تخطيط المنحنى الحلزوني :

المقصود بتخطيط المنحنى هو تعيين مواضع مجموعة من النقاط الواقعة عليه وتكون متباعدة عن بعضها بمقدار صغير بالنسبة إلى طول المنحنى بحيث أننا لو وصلنا بينها بخطوط مستقيمة فإننا نحصل على محور الطريق المنحنى في الطبيعة ويجب ألا تزيد المسافة بين نقط التخطيط عن ١٥ متراً في الطبيعة .

ويجرى تخطيط المنحنى بإحدى الطريقتين .

١ - التخطيط من المماس الأساسي .



وذلك بتوقيع الأحداثيات الكارتيزية ( س ، ص ) لمجموعة من النقط من المماس ( ويعتبر كمحور السينات ) ويستعمل القياس الطولى فقط .

٢ — التخطيط من النقطة الأصلية ( ١ ) .

وذلك باستعمال الأحداثيات القطبية ويستعمل التيودوليت والشريط فى التوقيع وسنكتفى بالطريقة الأولى حيث أنها الأكثر استعمالاً .

طريقة أحداثيات النقط من المماس :

وهى تقسيم المنحنى الحلزوني إلى أطوال متساوية شكل ( ٢٠٦ ) ويعين ( س ، ص ) للمنحنى الأولى ونعين س ، ص لكل نقطة .

مثال ٥ :

يراد تخطيط منحنى إنتقالى بين مستقيم ومنحنى دائرى نصف قطره ١٠٠ متر وثابت المنحنى ٢٠٠ بحيث تكون نقط المنحنى متساوية البعد .

الحل :

$$س = ل = ٢٠٠$$

$$ل \times ٤٠٠ = ( ٢٠٠ )^٢$$

$$ل = طول المنحنى = ١٠٠ متر$$

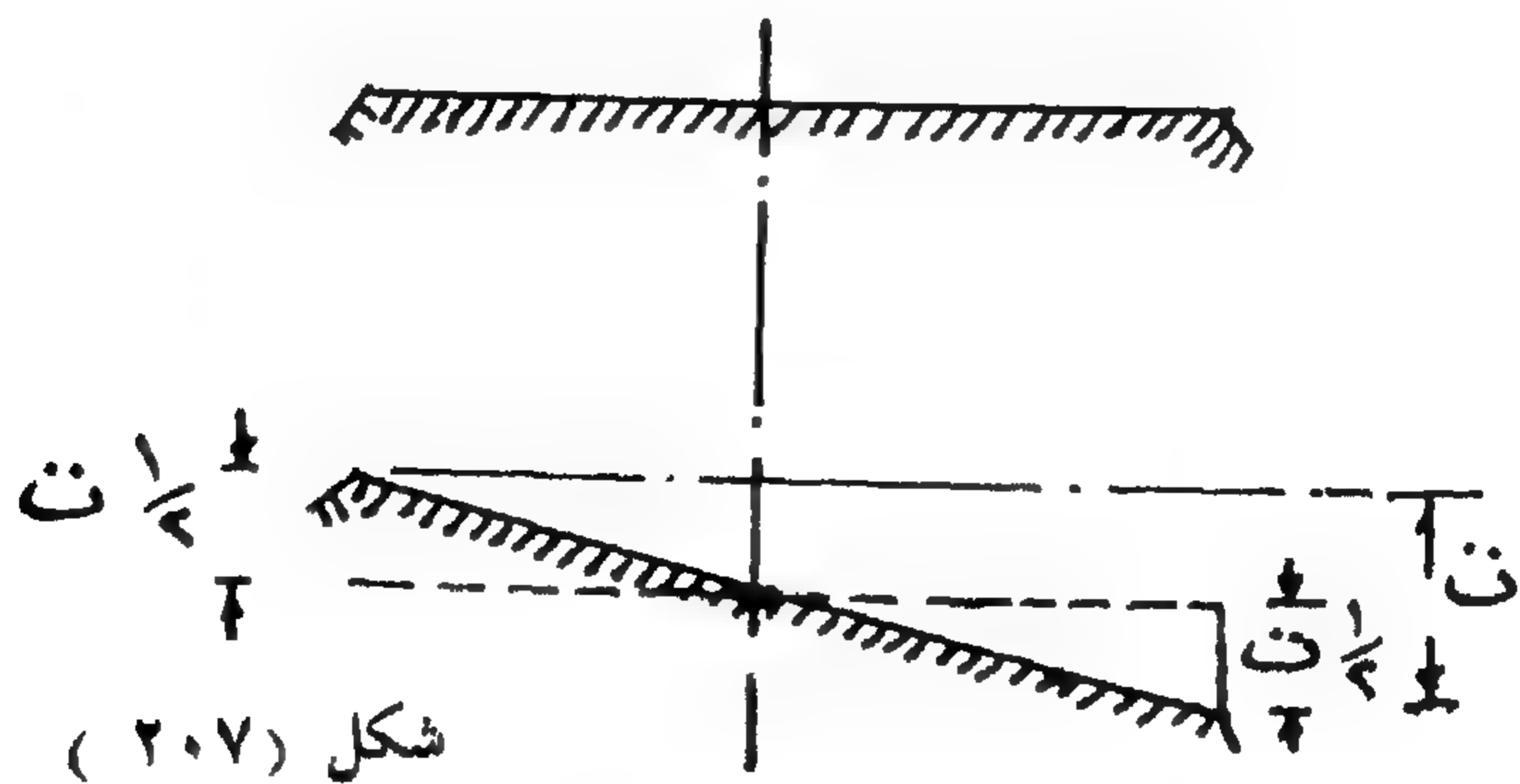
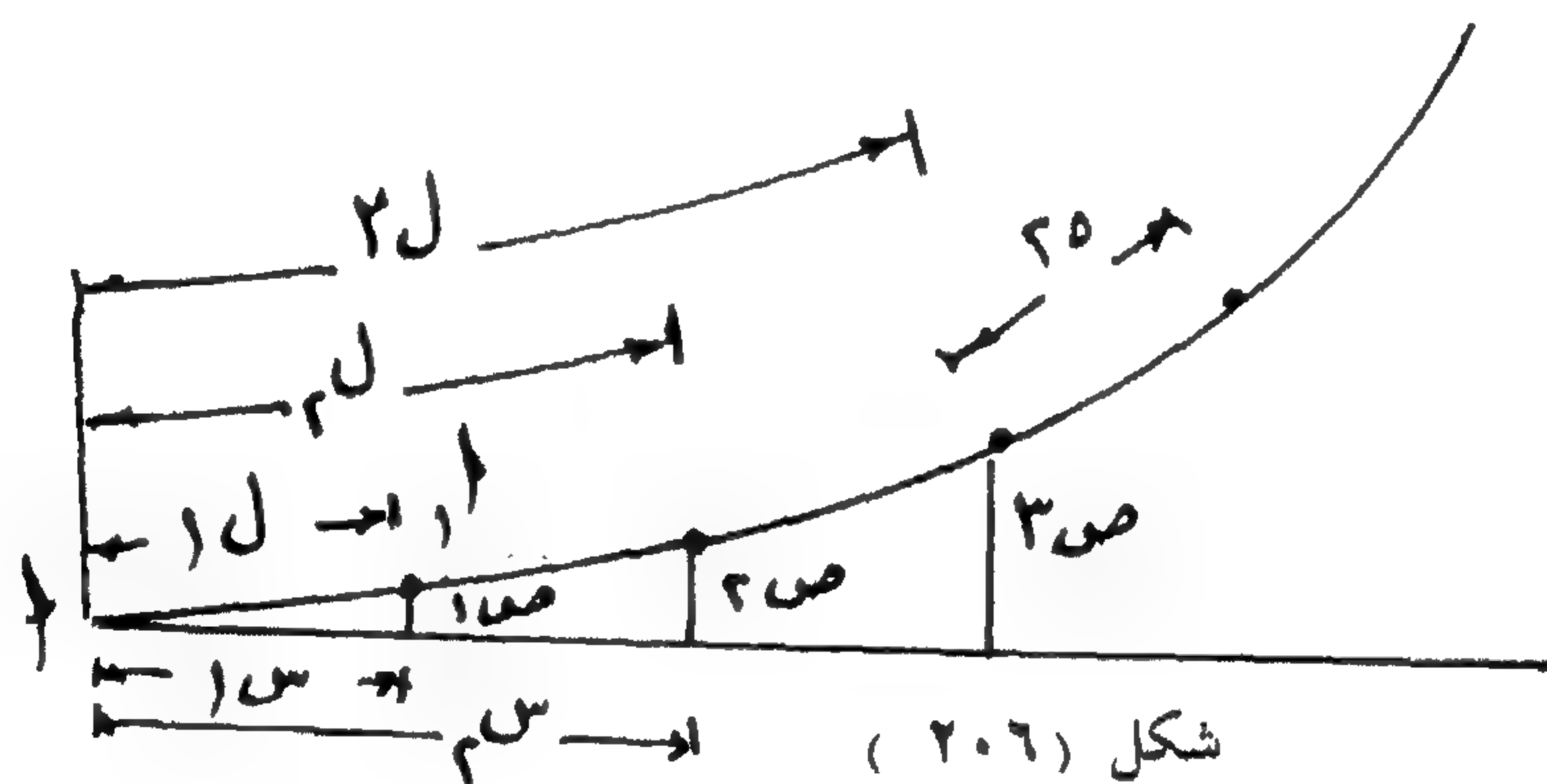
$$نفرض أن عدد النقط = ٥$$

$$ل = \frac{ل}{ك} = \frac{٢٥}{٢٠٠} = ٠,١٢٥$$



جدول ( ٢٦ )

منحنى أصلى			منحنى أولى			
ص	س	ل	ص ١	س ١	ل ١	
صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	١
٠,٠٦٤	٢٤,٩٨	٢٥	٠,٠٠٣٢	٠,١٢٤٩	٠,١٢٥	١
٠,٥٢	٤٩,٩٨	٥٠	٠,٠٠٣٦	٠,٢٤٩٩	٠,٢٥٠	٢
١,٧٤	٧٤,٩٦	٧٥	٠,٠٠٨٧	٠,٣٧٤٨	٠,٣٧٥	٣
٤,١٦	٩٩,٨٤	١٠٠	٠,٠٢٠٨	٠,٤٩٩٢	٠,٥٠٠	٤





والتخطيط العرضي للطريق .

وأرتفاع الظهر عن البطن يتناسب مع طول المنحنى وبالتالي تقوسه .  
والقيمة النهائية يجب ألا تزيد عن  $\frac{1}{10}$  من عرض الطريق فإذا كان لدينا في هذا

المثال طريق عرضه ١٠ أمتار فأرتفاع الجانب الخارجى لا يعلو أكثر من  
 $10 \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} = 0,50$  متراً .

والجانب الداخلى ينخفض  $10 \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} = 0,50$  متراً

ويكون تخطيطه كالاتى :

النقطة على المنحنى	التعليق ت
١ صفر	= صفر سم
١	$50 \times \frac{25}{200} = 12,5$ سم
٢	$50 \times \frac{50}{200} = 25$ سم
٣	$50 \times \frac{75}{200} = 37,5$ سم
٤	= ٥٠ سم

ويمكن إستنتاج التعليق لأى نقطة على مدى المنحنى الإنتقالى من شكل  
التقوس للمنحنى . أنظر شكل ( ١٩٧ ) .



## ٢ - القطع المكافئ التكعيبي

( Cubic Parabola )

ذكرنا في معادلة المنحنى الحزوني أن أحداثياته هي :

$$\begin{aligned} \dots \dots \dots + \frac{(L)^5}{5!} - L &= S \\ \dots \dots \dots + \frac{(L)^7}{7!} - \frac{(L)^3}{3!} &= V \end{aligned}$$

(١٥٤) .....

ولتبسيط العمليات الحسابية لإيجاد المقادير اللازمة لتوقيع المنحنى الإنتقالى أجرى التقريب التالى وذلك بأخذ الحد الأول من كلا الأحداثين وحذف باقى الحدود من كل من المعادلتين .

$$S = L, \quad V = \frac{L^3}{3!} \text{ ومنها ينتج أن :}$$

$$\frac{S^3}{L^3} = \frac{L^3}{3!} = V$$

$$\frac{S^3}{L^3} = V$$

(١٥٥) .....

وهذه هي معادلة القطع المكافئ من الدرجة الثالثة ويستخدم بكثرة خاصة



في السكك الحديدية بين الخطوط المستقيمة والمنحنيات الدائرية كمنحنيات  
انتقال لسهولة تخطيطه بواسطة الأحداثيات الكرتيزية .

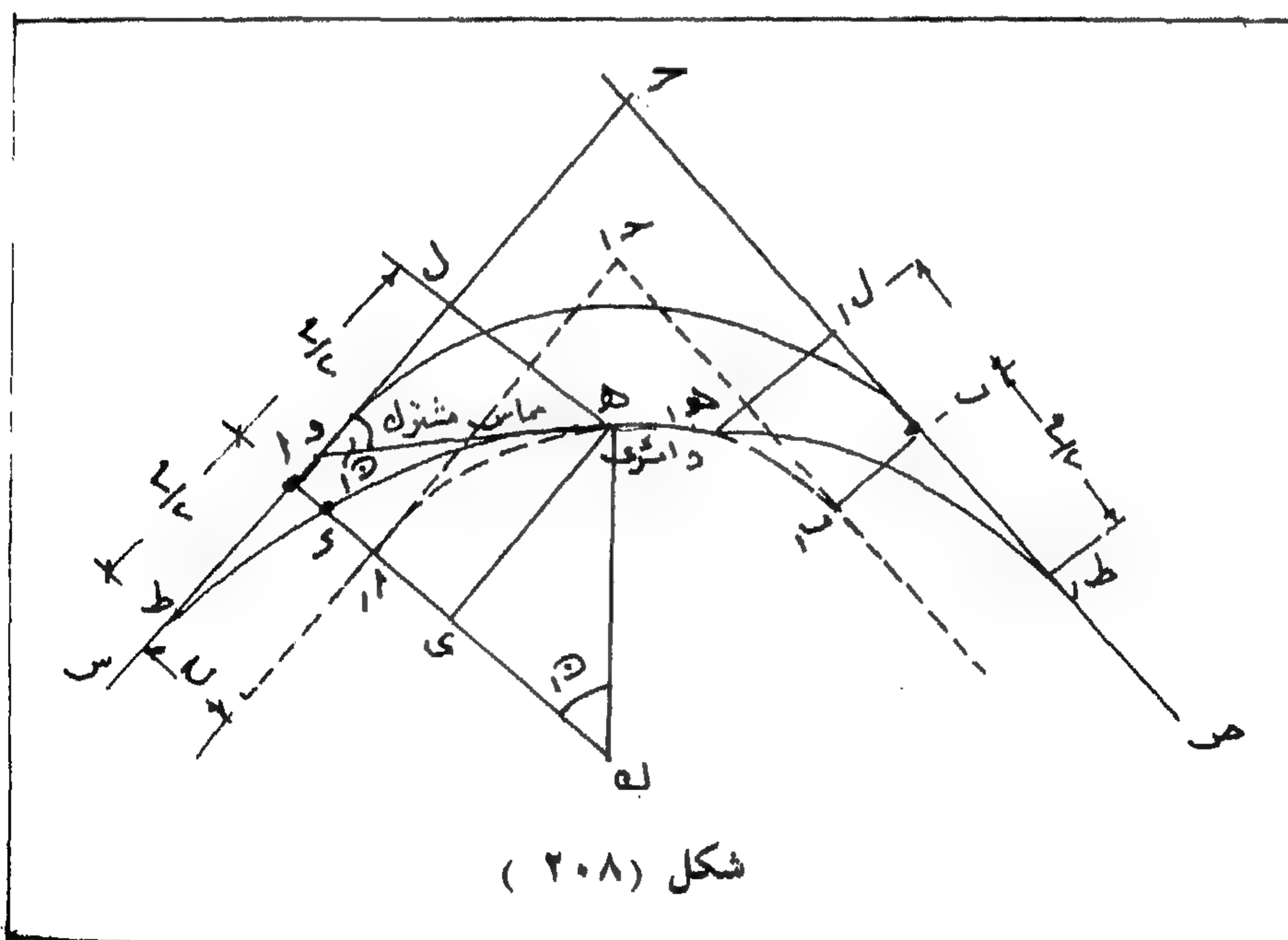
ويتوقف طول منحنى الانتقال على نصف قطر القوس الدائرى وعلى أقصى  
سرعة القطار وعلى فرق ارتفاع القضيبين .

ويقدر طول المنحنى الانتقالى في هذه الحالة بحيث يساوى ٨٠٠ مرة فرق  
ارتفاع الظهر عن البطن . فإذا كان الفرق في ارتفاع القضيبين = ١٠ سم ،  
طول منحنى الانتقال  $L = 0.10 \times 800 = 80$  متراً .

### تعيين موضع وتخطيط منحنى القطع التكميلى

نفرض في شكل (٢٠٨) أن المنحنى الدائرى ا ب يمس المستقيمين س ح ،  
ص ح عند كل من الطرفين .

١ — يزحزح القوس الدائرى موازياً لنفسه نحو مركزه بمقدار ( ح ) من  
الموضع ا ب إلى ا<sub>١</sub> ب<sub>١</sub> ( قيمة ح ستبين فيما بعد ) .



شكل ( ٢٠٨ )



٢ — يقاس على كل من المماسين من نقطة التماس وعلى كلتا جهتيها مسافة قدرها نصف طول منحنى الانتقال المحسوب ففتعين ط ، ل ، ط ، ل ، حيث ط ، ط هما نقطتا ابتداء منحنى الانتقال وهذا بفرض أن الفرق بين طول منحنى الانتقال والجزء المقابل له من المماس يمكن إهماله تماماً .

٣ — يقام عمود من كل من النقطتين ل ، ل على المماسين يقابلان القوس ا ، ب في ه ، ه على الترتيب .

٤ — يوضع منحنيا الانتقال بين ط ، ه ، بين ط ، ه ، ثم يبقى الجزء ه ه من القوس الدائري بينهما . وكما سنرى بعد أن ن ، نقطة تقاطع منحنيا الانتقال مع ا ، ب ، هما منتصفا هاتين الزحزحتين على الترتيب إذ أنه من خواص منحنى الانتقال أن أحداثيه الرأسى عند منتصف طوله يساوى نصف مقدار الزحزحة أى أن :

$$ا = ا ، ب = ب ، ل = ل ، ح = ح$$

حيث ح هى مقدار الزحزحة .

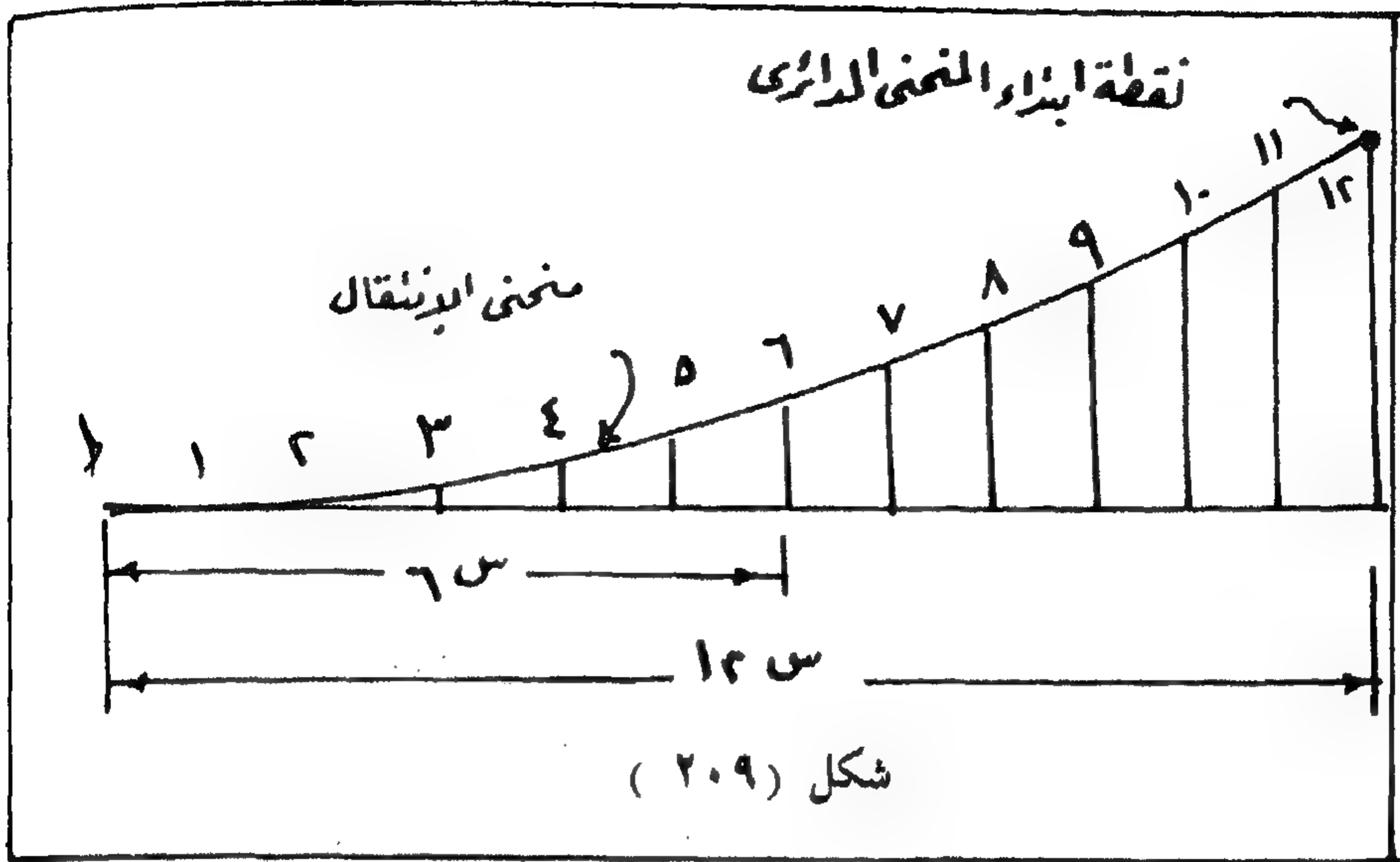
٥ — نوجد قيمة ا فى المعادلة ص = ا س<sup>٢</sup> وذلك بالتعويض عن ص بالقيمة  $\frac{1}{2} ح$  ، س بالقيمة م .

$$\frac{1}{2} ح = \frac{1}{2} (م)^2$$

$$\frac{ح}{2} = 1$$

$$ل ه = م^2 \times \frac{ح}{2} = ح$$





أى أن الأحداثى العمودى على المماس عند نهاية منحنى الانتقال تساوى أربعة أمثال مقدار الزحزحة .

الزحزحة : ( The Shift )

تقدر زحزحة المنحنى الدائرى لإدخال منحنيات الانتقال كما يلى ( فى شكل ٢٠٨ ) :

هـ و = المماس المشترك للمنحنيين الأنتقالى والدائرى عند هـ .  
 هـ = الزاوية بين المماس المشترك والمماس الأصيلى س ح  
 = الزاوية أ ك هـ .

نفرض أن هـ ي رسم عمودياً على أ ك .

$$\therefore \text{ح} = \text{ص} - \text{ى أ}$$

$$= \text{ص} - \text{ى} ( ١ - \text{جتا هـ} )$$

$$= \frac{\text{م}^2}{\text{ى} ٢٤} = \frac{\text{م}^2}{\text{ى} ٨} - \frac{\text{م}^2}{\text{ى} ٦}$$



..... (١٥٦)

$$\frac{م^2}{س ٢٤} = ح \therefore$$

$$\frac{م}{٢} = ه١ \therefore \frac{ه١}{س} = \frac{م}{س ٢} = ه١$$

وعملياً تؤخذ ه١ = ه حيث ه منتصف المنحنى الأنتقالى .

$$\frac{م^2}{س ٤٨} = \frac{٣(م \frac{١}{٢})^2}{س ٦ م} = ه١$$

$\therefore$  المنحنى الأنتقالى ينصف الزحزحة أى :

$$\frac{س^٣}{س ٦ م} = ص$$

وكما ذكرنا فإن قيمة الزحزحة عند منتصف المنحنى هى النصف .

$$\frac{م}{٢} = س$$
 وبالتعويض عن س

$$\frac{م^2}{س ٤٨ م} = \frac{٣(م \frac{١}{٢})^2}{س ٦ م} = ص$$

$$\frac{م^2}{س ٢٤} = ح \text{ ومنها } \frac{م^2}{س ٤٨ م} = \frac{ح}{٢} \therefore$$

مثال ٦ — منحنى نصف قطره ٨٠٠ مترا ومطلوب إدخال منحنى انتقال بين كل طرف من طرفيه والمماس علماً بأن مقدار اختلاف منسوب القضيبين = ١٢ سم .



احسب مقدار الزحزحة اللازمة للمنحنى وكذلك احسب الأحداثيات الرأسية على طول المنحنى لكل ٨ أمتار من طوله . ( الحل شكل ٢٠٩ ) .

$$\text{طول منحنى الانتقال} = ١٢,٠ \times ٨٠٠ = ٩٦ \text{ متراً}$$

$$\text{مقدار الزحزحة} = \frac{(٩٦)^2}{٨٠٠ \times ٢٤} = ٠,٤٨ \text{ متراً}$$

$$\frac{١}{٩٠٠} = \frac{٢٨^2}{٩٦ \times ٨٠٠ \times ٦} = \frac{٣}{٦} = \text{ص}_١$$

$$٨ \times \frac{١}{٩٠٠} = \frac{(١٦)^2}{٩٦ \times ٨٠٠ \times ٦} = \text{ص}_٢$$

$$٢٧ \times \frac{١}{٩٠٠} = \frac{٣}{٦} = \text{ص}_٣$$

وهكذا .

رقم النقطة :

صفر	١	٢	٣	٤	٥	٦
المسافة الأفقية بالمتر :						
صفر	٨	١٦	٢٤	٣٢	٤٠	٤٨
الأحداثى الرأسى بالمتر :						
صفر	٠,٠٠١١	٠,٠٠٨٩	٠,٠٣٠	٠,٠٧١١	٠,١٣٨٩	٠,٢٤
٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	
٥٦	٦٤	٧٢	٨٠	٨٨	٩٦	
٠,٣٨١١	٠,٥٦٨٩	٠,٨١٠	١,١١١١	١,٤١٧٩	١,٩٢	



### تخطيط المنحنى :

- ١ — يخطط المنحنى بتوقيع أحداثيات نقط عليه بالنسبة للمماس .
- ٢ — نعين نقطة التماس الأصلية  $ا$  كما سبق في المنحنيات الدائرية .
- ٣ — يحسب طول منحنى الانتقال المطلوب تبعاً للقواعد المتبعة في كل حالة .

- ٤ — يحسب مقدار الزحزحة من المعادلة .

$$\frac{م^2}{٢٤ ص} = ح$$

- ٥ — نقيم عمود على المماس ونعين  $ح$  ،  $س$  .

$$ا = س = ا_1 = \text{نصف الزحزحة}$$

- ٦ — نقيس مسافة على المماس على جانبي  $ا$  ط ،  $ا$  ل مقدارها  $= \frac{م}{٢}$

نصف المنحنى الانتقال فيتعين و ، ب .

- ٧ — نقيم على المماس من ل ، ط أعمدة أطوالها تساوى الزحزحة فنحصل على خط موازياً للمماس الأول وهو المماس الجديد للمنحنى الدائرى المزحزح ومن هذا المماس نوقع المنحنى الدائرى مع إعتبار أن نصف القطر = ( ص — ح ) والجزء الحقيقى المطلوب من المنحنى الدائرى ابتداء من هـ .

- ٨ — نوقع أبتداء من نقطة ط نقط منحنى الانتقال بأخذ أعمدة الأحداثيات الرأسية على المماس ب ح ، ط نقطة أصل . من المعادلة ص =  $\frac{س^3}{٦ م نو}$  . ثم نخطط المنحنى الدائرى .

- ٩ — نقوم بإجراء مثل ما سبق لتوقيع منحنى الانتقال الآخر من المماس الثانى .



## مسائل

١ — طريقان متوازيان يراد إيصالهما بواسطة منحنى عكسى وعدة منحنيات انتقالية — بين بالرسم وضع المنحنيات المختلفة بين الطريقين — وكذا شكل التقوس على مدى الطريق وقيمته المختلفة عند منطقة المنحنيات .

٢ — عين أجزاء المنحنى الحلزوني المقترح بين طريق مستقيم ومنحنى دائرى  $\theta$  له  $= 350$  م ، إذا كانت السرعة المسموح بها على الطريق تتراوح ما بين  $90 - 110$  كم/ساعة . عين الأجزاء اللازمة لتخطيط هذا المنحنى من المماس .

٣ — استنتج مقدار الزحزحة اللازمة لمنحنى دائرى فى خط سكة حديد نصف قطره  $\theta$  يراد إدخال منحنى انتقالى طوله  $L$  بين كل طرف من طرفيه ومحور الخط الحديدى المستقيم . إذا كان قطر المنحنى الدائرى هو  $500$  متر ، ومقدار إختلاف المنسوب بين محور الخط والقضيب الداخلى عند المنحنى الدائرى  $= 6$  سم ، عين :

أ — مقدار الزحزحة اللازمة للمنحنى الدائرى .  
ب — طول المنحنى الإنتقالى المطلوب .  
ج — الإحداثيات الرأسية على طول المنحنى الانتقالي لكل  $12$  متر من طوله حتى المنتصف .

٤ — منحنى انتقالى حلزوني طوله  $300$  متر وثابته  $250$  متر يراد ادخاله بين منحنى دائرى وخط مستقيم والمطلوب هو :

أ — نصف قطر المنحنى الدائرى .  
ب — مقدار الزحزحة اللازمة .  
ج — إحداثيات اتصال المنحنى الانتقالي مع المنحنى الدائرى .



٥ — ما هي الأجزاء اللازمة لتخطيط منحني حلزوني من المماس الأساسي له بين مستقيم ومنحني دائري نصف قطره ٥٠٠ متراً إذا كان ثابت المنحني = ٢٥٠ — بين في جدول التخطيط العرضي لهذا الطريق عند المنحني الانتقال إذا كان عرض الطريق = ١٢ متراً .

٦ — طريقان زاوية تقابلهما ٥٩٠ ، يراد ايصالهما بواسطة منحني مركب وعدة منحنيات إنتقالية — بين بالرسم وضع المنحنيات المختلفة بين الطريقين وكذا شكل التقوس على مدى الطريق وقيمته المختلفة عند منطقة المنحنيات .

٦ م — منحني حلزوني طوله ٢٥٠ متر مقترح بين طريق مستقيم ومنحني دائري  $r = ٣٠٠$  متر أوجد :

ا — السرعة المسموح بها على منطقة المنحنيات .

ب — الكميات اللازمة لتخطيط المنحني الحلزوني بالإحداثيات .

ح — مقدار الزحزحة اللازمة بالسنتيمترات .

٧ — طريق علوى على شكل منحني حلزوني ثابتته ٤٠٠ متر يراد إنشاء نفق مستقيم تحته أوله على بعد ١٢٠ متراً من بداية الطريق وآخره على بعد ٢٥٠ متراً من نفس البداية . أوجد طول النفق .

٨ — عين أجزاء المنحني الحلزوني المقترح بين طريق مستقيم ومنحني دائري قطر ٧٠٠ متر وثابتته ٢٨٠ متر . وما هي أقصى سرعة مسموح بها عند منطقة المنحنيات . عين القطاعات العرضية لهذا الطريق إذا كان عرضه ١٦ متراً .

٩ — طريق علوى على شكل منحني حلزوني ثابتته ٣٠٠ متر يراد إنشاء نفق مستقيم تحته أوله على ١٥٠٠ متراً عن بداية الطريق وآخره على بعد ٥٥٠ متر من نفس البداية . أوجد الزاوية المحصورة بين المماسين عند اتصال المنحني بالطريق .

١٠ — حدد بالرسم المتقن والأبعاد الكاملة كيفية تخطيط المنحني الذي



يصل بين طريقين متعامدين أدخل عليه منحنيات أنتقالية حلزونية بزحزة قدرها ٧٥ سم . وأوجد طول المنحنى الكلى وتدريج بداية ونهاية أجزاء المنحنيات المختلفة إذا كان تدريج التقاطع ١٠٠ جنزير . وأوجد ما يلي :

- ا — الكميات اللازمة لتخطيط المنحنى الانتقالي والمنحنى الدائرى .
- ب — أطوال المماسات  $F_1$  ،  $F_2$  .
- ح — التخطيط العرضى للطريق على مدى الأجزاء المنحنية .



## الباب العشرون المنحنيات الرأسية ( VERTICAL CURVES )

كثيراً ما يلزم الأمر عمل سطح الأنشاء للطرق أو للسكك الحديدية في أرض يتغير أنحدارها على هيئة مستويين يتقابلان في خط مستقيم . في هذه الحالة يجب أن يتخذ خط الأنشاء صورة منحنى رأسى لتلافي هذا التغير الفجائى في سطح الأرض وإعطاء معدل تغير منتظم في الانحدار ، وبذا تناسب العربات والقطارات دون أن تشعر أو تعاني من رجات وأهتزازات فجائية عند تلاقى الأنحدارين المختلفين .

كما يجب أن تكون هناك مسافة رؤية مناسبة في المنحنيات المحدبة وفي المنحنيات المارة تحت المنشآت .

والمنحنى الرأسى يتخذ عادة شكل قطع مكافئ بسيط محوره رأسى . وقد وجد أن القطع المكافئ هو أحسن المنحنيات التى تصل الإنحدارين نظراً لسهولة تطبيقه ولخواصه الهندسية التى تتفق ومتطلبات المنحنى الرأسى وأهمها تكوين معدل تغير منتظم في أنحدار الطريق . والواقع أنه حديثاً قد أدخل استعمال القطع المكافئ من الدرجة الثالثة وخاصة في تقاطعان الوديان .

ويكون تلاقى الأنحدارين في منتصف المنحنى بحيث يكون نصفه مع الأنحدار الأول ونصفه الثانى مع الأنحدار الثانى ويعتمد طول المنحنى الرأسى على عدة عوامل أهمها :

- ١ — معدل التغير في الإنحدار بين جزئى الطريق .
- ٢ — معدل السرعة على الطريق .
- ٣ — طبوغرافية الأرض ودرجة الطريق نفسه .



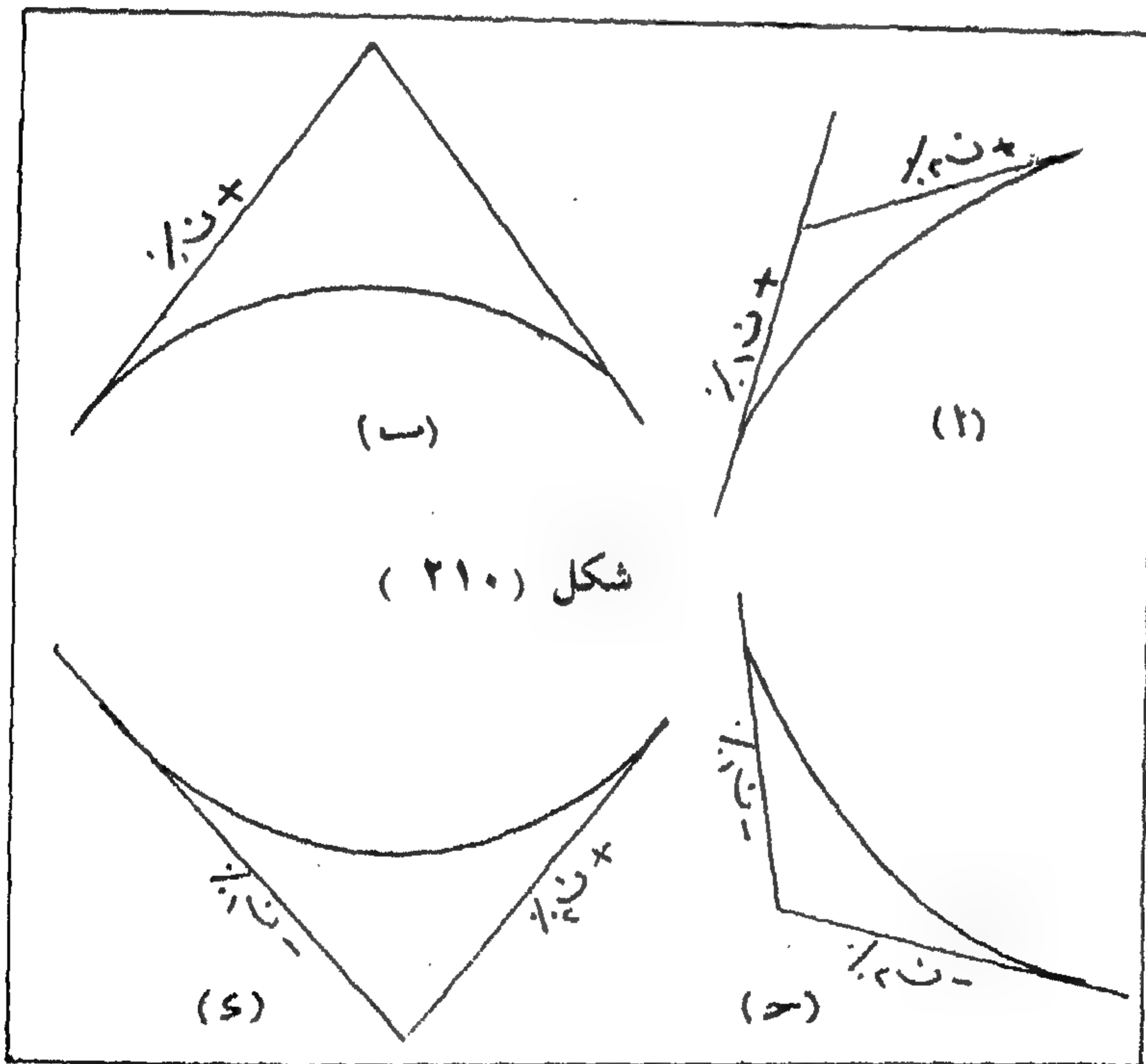
٤ - نوع المنحنى المستخدم ( مقعر أو محدب ) .

٥ - مسافة الرؤية .

ويؤخذ الطول المناسب في معظم المواصفات بحيث لا يتعدى معدل التغير في الانحدار قيم معينة بالنسبة لدرجة الطريق .

#### أنواع المنحنيات الرأسية :

شكل (٢١٠) يبين الأنواع الأربعة المختلفة التي يمكن أن تقابلها في المنحنيات الرأسية وذلك من ناحية ترتيب وإشارات الانحدار وعموماً يمكن تقسيمها إلى نوعين ( أ ) منحنيات رأسية محدبة ( Convex ) شكل (٢١٠) ( أ ، ب ) ومقعرة ( Concave ) ( ح ، د ) .





## أجزاء المنحنى الرأسى

أجزاء المنحنى الرأسى الأساسية هي :

١ — طول المنحنى ( ل ) وهو الطول الأفقى بين نهايتى المنحنى الرأسى شكل ( ٢١٢ ) .

٢ — معدلا الانحدارين  $\text{هـ}_١$  ،  $\text{هـ}_٢$  كل ١٠٠ متر وتكتب بصورة نسبة مئوية شكل ( ٢١١ ) أو يعطى معدل الانحدار فى صورة قيم معلومة لكل مسافة أفقية وبإشارة محددة وأحياناً يعبر عنهما بزاوية فرق الانحدارين للخطين المستقيمين .

٣ — معدل التغير فى الانحدار ( م ) .

٤ — بداية ونهاية المنحنى الرأسى هـ ، و . شكل ( ٢١٢ ) .

٥ — قمة المنحنى ب شكل ( ٢١٢ ) .

## طول المنحنى :

فى شكل ( ٢١٢ ) إذا فرض أن الانحدارين من هـ ، ويتقابلان فى نقطة جـ ومعدلى الانحدارين هما  $\text{هـ}_١$  ،  $\text{هـ}_٢$  متر فى كل ١٠٠ متر ،  
والمطلوب إيصاها بما بمنحنى رأسى يعطى معدل تغير فى الانحدار قدره م كل ١٠٠ متر فإن :

$$\text{طول المنحنى ( ل )} = \frac{\text{هـ}_٢ - \text{هـ}_١}{\text{معدل التغير ( م )}} \times ١٠٠ \dots (١٥٦)$$

مع مراعاة إشارات الانحدار ( موجباً إلى أعلى وسالباً إلى أسفل ) ،







مثال ١ — يراد توصيل الانحدار إلى أعلى قدره ٢,١٪ وإنحدار إلى أسفل مقداره — ٠,٤٪ بمنحنى رأسى بمعدل تغير فى الانحدار قدره ٠,١. فما طول المنحنى ؟

$$L = \frac{2,1 - (-0,4)}{0,1} \times 100 = 2500 \text{ متر}$$

مثال ٢ — منحنى رأسى طوله ٣٠٠ متر يصل المنحارين + ٠,٧٪ — ٠,٨٪. يراد زيادة طول المنحنى إلى ٤٠٠ متر بشرط تساوى كلا المنحارين وثبوت قيمة معدل التغير. عين قيمة الانحدار الجديد الواجب استخدامه.

الحل :

$$L = \frac{2^2 - 1^2}{m} \times 100$$

$$300 = \frac{0,8 + 0,7}{m} \times 100$$

$$m = \frac{100 \times 1,5}{300} = 0,5$$

بفرض أن الانحدار الجديد = هـ

$$\therefore 400 = \frac{2^2 - 1^2}{0,5} \times 100 \quad \text{.....} \quad \text{هـ} = 1\%$$

خواص القطع المكافئ :

أولاً — معادلة القطع المكافئ بالنسبة لأى محورين متعامدين هى :

..... (١٥٧)

$$ص = ا س^2 + ب س + ح$$



وقيمة ( ١ ) تحدد تفلطح المنحنى ، أما إشارتها فتحدد إتجاه الإنحناء ، فإذا كانت موجبة يكون المنحنى مقعراً ، وإن كانت سالبة فإنه يكون محدباً .

$$\text{ميل المنحنى عند أى نقطة عليه} = \frac{S}{S} = 12 = S + B$$

ثانياً — معدل تغير الانحدار ( م ) :

( ١٥٨ ) .....

$$M = \frac{S_2 - S_1}{L} = 12 = \frac{S}{S}$$

وبذا فإن معدل تغير الميل أو الانحدار فى القطع المكافئ الرأسى يكون ثابتاً على طول المنحنى جميعه ، وهذا هو الشرط المطلوب فى المنحنيات الرأسية .  
وبتحديد قيمة ( ١٢ ) يتحدد المنحنى الرأسى كما يتحدد المنحنى الأفقى بتعيين درجته S .

ثالثاً — الفرق بين منسوب نقطة على المنحنى الرأسى ومنسوب النقطة المقابلة لها على المماس = المقدار الثابت ( ١ ) × مربع المسافة الأفقية للنقطة من نقطة التماس . فمثلاً .

$$Y_1 = 1 = V_1 = S_1^2 = V_2 = \frac{(S_2)^2}{2} = \frac{(1)^2}{2}$$

$$V_1 = 1 = S_1^2 = V_2 = \frac{(S_2)^2}{2} = \frac{(12)^2}{2}$$

( ١٥٩ ) .....



رابعاً — إذا رسمنا مماسين من أى نقطة مثل ح ، فإن نقطتى التماس تكونان على بعدين أفقيين متساويين من هذه النقطة لأن :

ح ب = ص د = ا س<sup>٢</sup> د ( بالنسبة للمماس عند د ) .

ح ب = ص ,  $a^2 = s^2$  ( بالنسبة للمماس عند و ) .

$$1s^2 = 1s^2 \therefore s = s$$

وبذا يقع كل من نصفى المنحنى على جانبى نقطة تلاقي الأنحدارين أى  
 (  $\frac{1}{2} L$  ) على كل جانب .

خامساً — ينصف المنحنى الخط الرأسى الواصل بين نقطتى تقاطع المماسين  
ومنتصف الوتر الواصل بين نقطتى التماس .

∴  $s_1 = s_2$  ،  $b$  ح یوازی و  $k$  .

(17.) . . . . .

وله = ٢٥ ح

ولدينا ص م = ا س م<sup>2</sup>

$$و ك = 1 (س م + س , ) = 2 \quad \epsilon = 1 س م^2 = \epsilon ص م$$

من هذا ينتج أن :

٢ ح ٥ = ٤ ص هـ

و ب = ب ح ای ب هی منتصف ح و

سادساً — إذا كانت  $h$  نقطة الإبتداء تعتبر كنقطة الأصل فإن المعامل  $h$  في معادلة القطع = صفر وتصبح المعادلة :

$$\text{ص} = \text{ا} \text{س}^2 + \text{ب} \text{س}$$



وبما أن الميل =  $2 \text{ س} + \text{ب}$  لأي مماس ،  $\text{س} = \text{صفر}$  عند نقطة الأصل  
فإن الميل عند نقطة الأصل =  $\text{ب}$  .

وكذلك فإن ميل المماس عند نقطة الأصل  $\text{ه}_1$  .

..... (١٦١)

معادلة القطع بالنسبة لنقطة التماس

$$\text{ص} = \text{س}^2 + \text{ه}_1 \text{ س}$$

سابعاً — العلاقة بين  $\text{ه}_1$  ،  $\text{ه}_2$  ،  $\text{ل}$  ،  $\text{ص}$  .

لإيجاد علاقة عامة سنعتبر هنا أن كلا من الميلين  $\text{ه}_1$  ،  $\text{ه}_2$  هو الميل في كل وحدة من  $\text{ل}$  ولتكن جنزير أو ١٠٠ متر أو أى وحدة تختارها .

$$\text{ع} = \text{ه}_1 \left( \frac{\text{ل}}{2} \right)$$

$$\text{و} = \text{ه}_2 \left( \frac{\text{ل}}{2} \right)$$

وحيث أن  $\text{ع} = \text{ك} - \text{ط}$

$$\text{و} = \text{ك} - \text{ط} + \text{ط} = \text{ع} + \text{و}$$

$$\text{ه}_1 \left( \frac{\text{ل}}{2} \right) + \text{ه}_2 \left( \frac{\text{ل}}{2} \right) = \text{ك}$$

ومعدلاً الأنحدار  $\text{ه}_1$  ،  $\text{ه}_2$  قد يكون أحدهما أو كلاهما سالباً أو موجباً .

$$\text{و} = \text{ك} - \text{ه}_1 \left( \frac{\text{ل}}{2} \right) - \text{ه}_2 \left( \frac{\text{ل}}{2} \right)$$

مع مراعاة إشارات  $\text{ه}_1$  ،  $\text{ه}_2$  الجبرية ( موجباً إلى أعلا ، وسالباً إلى أسفل ) لكن  $\text{و} = \text{ك} - \text{ه}_1 \left( \frac{\text{ل}}{2} \right) - \text{ه}_2 \left( \frac{\text{ل}}{2} \right)$



(١٦٢) .....

$$\frac{L}{8} (e_2 - e_1) = \text{ص د}$$

حيث L هو الطول بمئات الأمتار .

مثال ١ — منحنى رأسي طوله ٤٠٠ متراً ،  $e_1 = 4,00\%$  ،  $e_2 = 6,00\%$  ما طول ص د .

$$\text{ص د} = \frac{1}{8} \times ((6,00 - 4,00) - 5,00 \text{ متر})$$

مثال ٢ — منحنى رأسي يصل بين انحدارين  $e_1 = 1\%$  ،  $e_2 = 1$  متر كل ٣٠٠ متر ، فإذا كان منسوب المنحنى عند منتصف طوله ١١٩,٣٥٠ ومنسوب نقطة تقاطع الانحدارين ١١٨,٩٥ . فما هو طول المنحنى .

الحل :

$$\text{ص د} = 119,350 - 118,950 = 0,40 \text{ متر}$$

$$\frac{L}{8} (e_2 - e_1) = \text{ص د}$$

$$L = \frac{0,4 \times 8}{\frac{1}{3} - 1 - (e_2 - e_1)}$$

$$= \frac{3 \times 3,20}{4} = 2,4 \text{ بمئات الأمتار}$$

طول المنحنى هو ٢٤٠ متراً .

حساب مناسب نقط المنحنى :

لإيجاد مناسب نقط المنحنى تتبع الخطوات الآتية ( شكل ٢١٢ ) .



١ — نوجد منسوب أول وآخر نقطة ( هـ ، و ) على المنحنى وذلك بمعلومية معدل الانحدارين  $هـ_١$  ،  $هـ_٢$  ومنسوب ( و ) .

٢ — نأق بمنسوب نقطة د .

منسوب د =  $\frac{١}{٢}$  ( منسوب هـ + منسوب و ) .

٣ — منسوب ب ( على المنحنى ) =  $\frac{١}{٢}$  ( منسوب د + منسوب نقطة

التقاطع ح ) .

٤ — المسافة ص هـ = منسوب ح — منسوب ب .

٥ — لحساب منسوب أى نقطة على المنحنى .

$$\text{لدينا ص هـ} = ١ \text{ س هـ} = \frac{١}{٤} \times ١$$

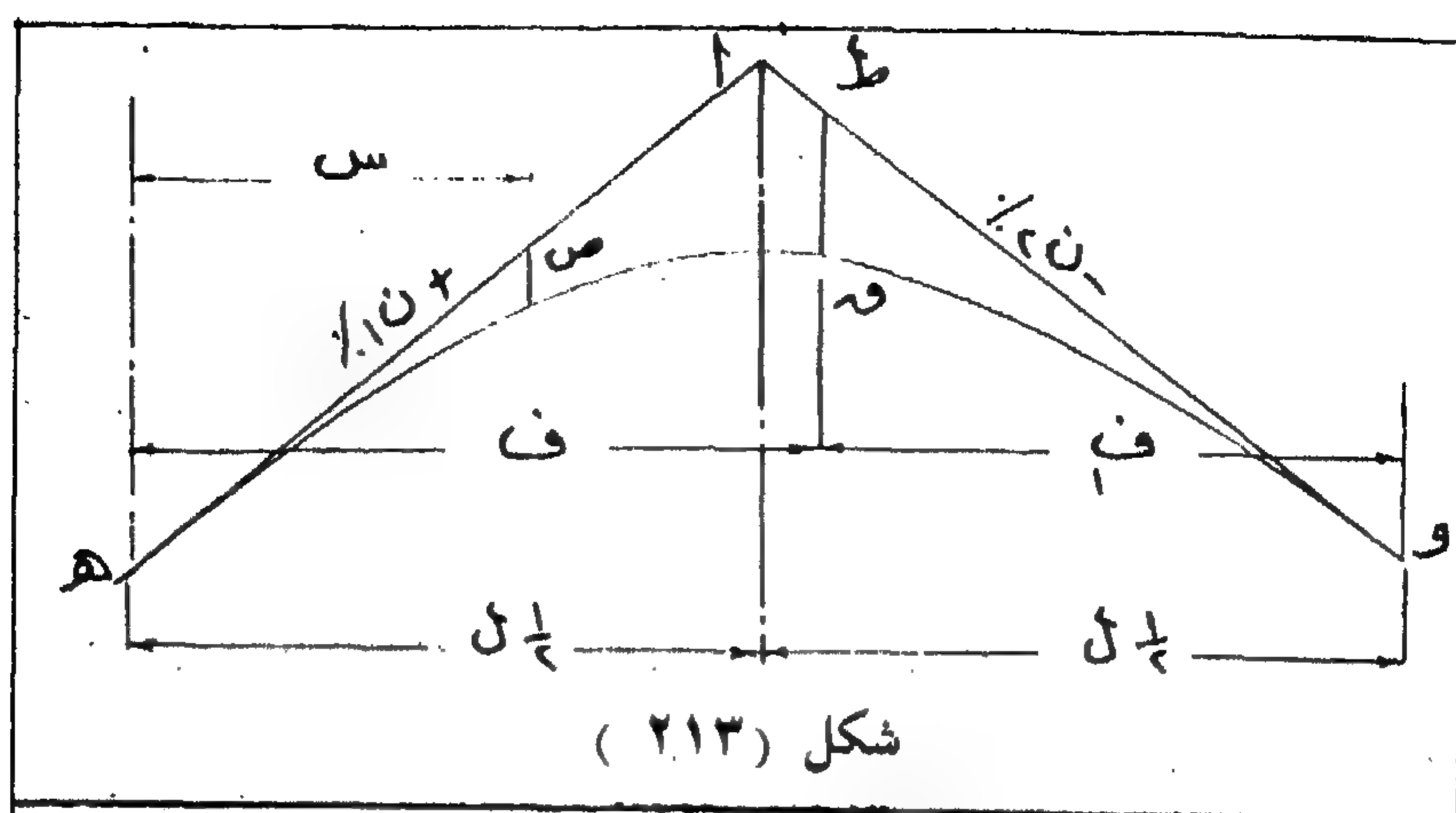
٦ — يقسم المنحنى إلى أقسام متساوية بحيث تكون نقطة ح نهاية أحد الأقسام وفي منتصف المنحنى فإذا اعتبرنا هذه الأقسام هى وحدات الأحداثى السينى فيمكن الحصول على المقدار الثابت ا .

٧ — بالتعويض بالقيم المختلفة للمقدار س فى المعادلة ص = ا س هـ فنحصل على قيم ص المقابلة — وبطرح هذه القيم من مناسيب خط الأنحدار نحصل على مناسيب النقط المختلفة على المنحنى الرأسى — ويمكن تحقيق هذه القيم بإيجاد منسوب نقطة هـ .

إيجاد أعلى أو أوطى نقطة على المنحنى :

قد يكون من الضرورى أحياناً إيجاد أعلى نقطة على المنحنى ومنسوبها وذلك فى حالة المنحنيات المحدبة ، أو أوطى نقطة فى حالة المنحنيات المقعرة . لدينا فى شكل (٢١٣) .





$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \text{معدل التغير (م)}$$

ميل المماس عند أعلى أو أوطى نقطة = صفر .

فإذا فرض أن  $w$  هي أعلى نقطة على مسافة  $f$  من  $h$  فإن :

طول المنحنى الجزئى بين ه ، و = ف =

$$\frac{\text{الفرق الجبرى بين ميلى المماسين عند } \theta}{\text{م}} = \frac{\text{م} - \text{صفر}}{\text{م}}$$

لأن الميل عند ٠ = صفر

وبالتعويض عن م فإن :

$$f = \frac{L}{\lambda_2 - \lambda_1} = \text{المسافة من أول المنحنى حتى أعلى نقطة أو أوطى نقطة}$$

(163) . . . . .



وبالمثل :

$$ف_1 = \frac{ل_1}{ل_2 - ل_1} = \frac{\text{المسافة من نهاية المنحنى حتى أعلى أو أوطى نقطة}}{\text{المسافة من نهاية المنحنى حتى أعلى أو أوطى نقطة}}$$

..... (١٦٤)

منسوب قمة المنحنى = منسوب ط (على المماس) - ص

مثال - لو كان إنحدارا المماسين لمنحنى رأسى هما + ٣,٠٠٪ ، - ٢,٠٠٪ وطول المنحنى ٤٠٠ متر فإن أعلى نقطة تكون على بعد ف من أو المنحنى .

$$ف = \frac{٣ \times ٤}{(٢ -) - ٣} = ٢,٤ \text{ بمئات الأمتار}$$

$$\text{ومن آخر المنحنى } ف_٢ = \frac{٢ \times ٤}{(٢ -) - ٣} = ١,٦ \text{ بمئات الأمتار}$$

### أمثلة على تخطيط المنحنى الرأسى

مثال ١ - أوجد مناسيب النقط المختلفة كل ٥٠ متر والواقعة على منحنى رأسى يصل بين الانحدارين + ٣,٢٪ ، - ٢,٥٪ . علماً بأن منسوب نقطة تقاطع الأنحدارين هو ١٧١,٤٠ م وطول المنحنى ٤٠٠ متر .

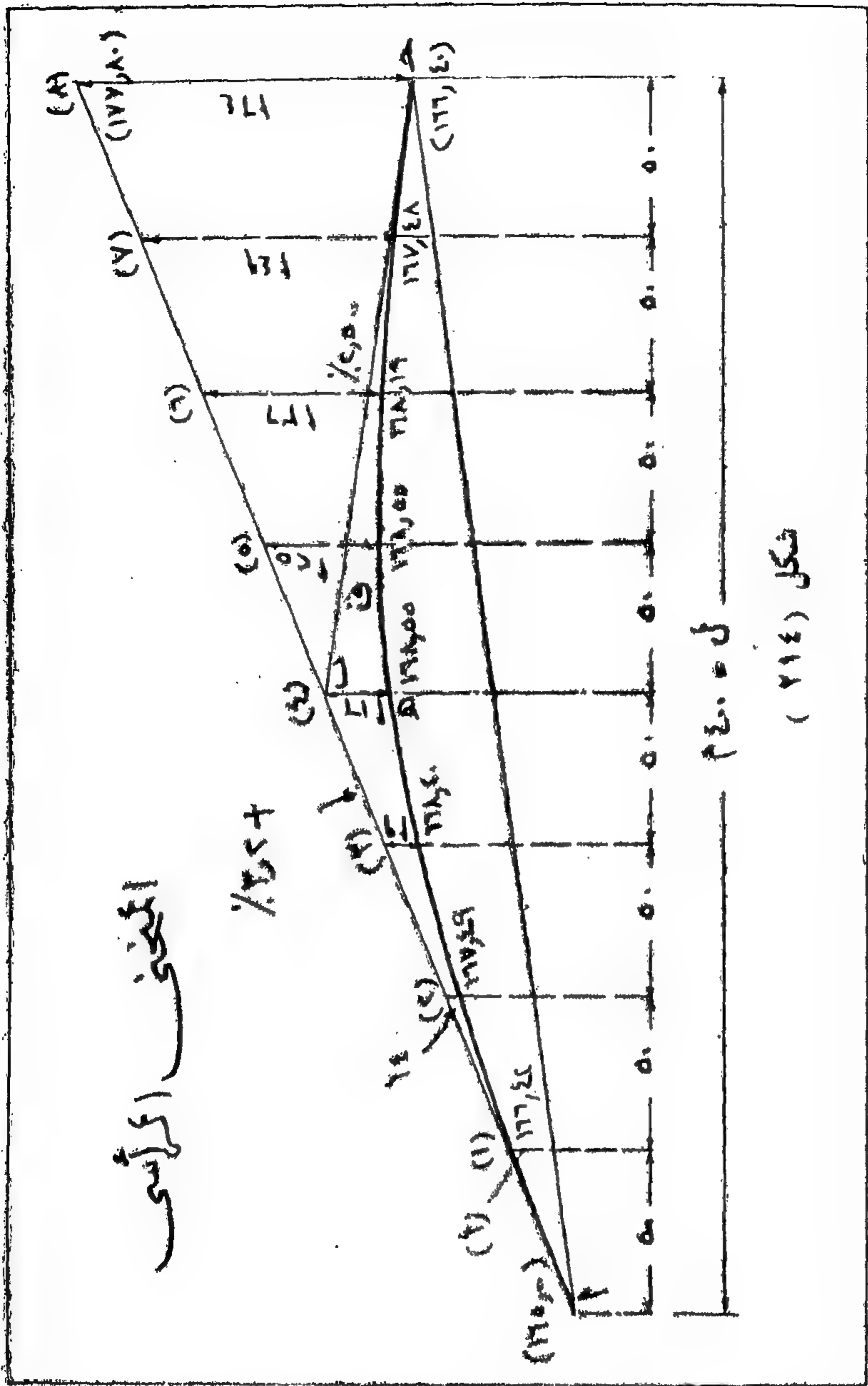
الحل :

فى شكل ( ٢١٤ ) :

$$١ - \text{منسوب نقطة التماس } ١ = ١٧١,٤٠ + \frac{٣,٢}{١٠٠} \times ٢٠٠$$

$$= ١٦٥,٠٠ \text{ مترا}$$







$$٢ - \text{منسوب نقطة التماس ح} = ١٧١,٤٠ - ٢٠٠ \times \frac{٢,٥}{١٠٠}$$

$$= ١٦٦,٤٠ \text{ مترا}$$

ولحساب مناسيب نقط المنحنى نتبع إحدى طريقتين :

الطريقة الأولى — مناسيب النقط على المنحنى وحسابها من أحد المماسين مع استعمال المعامل (١) :

١ — نوجد مناسيب كل النقط (١ — ٨) التى على المماس ا ب أو إمتداده وعلى مسافات كل منها ٥٠ مترا ، أى النقط التى تقع مباشرة فوق نقط المنحنى المراد إيجاد مناسيبها . ( جدول ٢٧ ) .

$$\text{منسوب أى نقطة على المماس} = ١٦٥,٠٠ + \frac{٣,٢}{١٠٠} \times \text{بعد النقطة عن ا}$$

$$= ١٦٥,٠٠ + \frac{٣,٢}{١٠٠} \times ٥٠ \times \text{عدد المحطات للنقطة}$$

$$= \text{منسوب النقطة} ١٦٥,٠٠ + ١,٦ \times \text{عدد المحطات}$$

( أنظر العمود ٢ فى الجدول )

٣ — منسوب نقطة ( د ) منتصف الوتر ا ح

$$= \frac{١}{٢} ( ١٦٦,٤٠ + ١٦٥,٠٠ )$$

$$= ١٦٥,٧٠ \text{ م}$$

٤ — منسوب نقطة ه منتصف المنحنى =  $\frac{١}{٣} ( ١٦٥,٧٠ + ١٧١,٤٠ )$

$$= ١٦٨,٥٥ \text{ م}$$

ويمكن إيجاد منسوب ه مباشرة كما يلى :



$$\text{ص د} = \frac{L (h_2 - h_1)}{h_1 + h_2} = \frac{4 (2,5 + 3,2)}{8} = 2,85 \text{ متر}$$

$$\text{منسوب ه} = 171,40 - 2,85 = 168,55 \text{ متر}$$

$$= \text{نحسب أ من المعادلة أ س}^2$$

$$171,40 - 168,55 = 2,85 = 1 \times (4)^2$$

$$\text{وذلك لإعتبار } \frac{1}{2} L = 4 \text{ فترات كل منها } 50 \text{ مترا}$$

$$0,1781 = 1$$

٦ — نحسب ص = أ س<sup>2</sup> للنقط كما هو مبين في عمود (٣) من الجدول (٢٧) وقد أعطى كل أحداثي إشارة سالبة حيث أنها سوف تطرح من منسوب النقطة المقابلة على المماس فتنتج مناسيب النقط على المنحنى (عمود ٤) .

٧ — تحقيق الحساب ، تحت الفروق الثانية (عمود ٥) فيجب أن تكون متساوية ، ويجب مراعاة الأشارات عند إيجاد هذه الفروق .

$$٨ — \text{المسافة الأفقية ف} = \frac{L}{h_2 - h_1} = \frac{3,2 \times 400}{2,5 + 3,2} = 224,6 \text{ متر}$$

$$\text{منسوب قمة المنحنى و} = 165,00 + 224,6 \times \frac{3,2}{100}$$

$$= \frac{2 (224,6) \times 0,1781}{2 (50)}$$

$$= 3,59 - 7,19 + 165,00 =$$

$$= 168,60 \text{ متر}$$



جدول ( ٢٧ )

رقم النقطة	المسافة (١)	المناسيب على المماس (٢)	الأحداثي ص $I = S^2$ (٣)	المناسيب على المنحني (٤)	الفروق في المناسيب	
					الأولى (٥)	الثانية
(صفر)	صفر	١٦٥,٠٠		١٦٥,٠٠		
(١)	٥٠	١,٦٠	$^2(١) \times ٠,١٧٨$		١,٤٣	٠,٣٥
		-١٦٦,٦٠	$٠,١٧٨$	١٦٦,٤٢		
(٢)	١٠٠	١,٦٠	$^2(٢) \times ٠,١٧٨$		١,٠٧	٠,٣٦
		-١٦٨,٢٠	$٠,٧١٢$	١٦٧,٤٩		
(٣)	١٥٠	١,٦٠	$^2(٣) \times ٠,١٧٨$		٠,٧١	٠,٣٦
		-١٦٩,٨٠	$١,٦٠٢$	١٦٨,٢٠		
(٤)	٢٠٠	١,٦٠	$^2(٤) \times ٠,١٧٨$		٠,٣٥	٠,٣٥
		-١٧١,٤٠	$٢,٨٤٨$	١٦٨,٥٥		
(٥)	٢٥٠	١,٦٠	$^2(٥) \times ٠,١٧٨$		٠,٠٠	٠,٣٦
		-١٧٣,٠٠	$٤,٤٥١$	١٦٨,٥٥		
(٦)	٣٠٠	١,٦٠	$^2(٦) \times ٠,١٧٨$		٠,٣٦	٠,٣٥
		-١٧٤,٦٠	$٦,٤٠٨$	١٦٨,١٩		
(٧)	٣٥٠	١,٦٠	$^2(٧) \times ٠,١٧٨$		٠,٧١	٠,٣٦
		-١٧٦,٢٠	$٨,٧٢٢$	١٦٧,٤٨		
(٨)	٤٠٠	١,٦٠	$^2(٨) \times ٠,١٧٨$		٠,٠٧	
		-١٧٧,٨٠	$١١,٣٩٢$	١٦٦,٤١		



الطريقة الثانية — حساب مناسيب نقط المنحنى من المماسين مع استعمال نسب المسافات :

نتبع الخطوات ( ٢ — ٤ ) السابقة .

$$\text{ص د} = ١٧١,٤٠ - ١٦٨,٥٥ = ٢,٨٥ \text{ مترا}$$

٥ — يحسب العمود (٣) كالآتى :

$$\text{ص}_١ = ٢,٨٥ \times \left(\frac{١}{٤}\right)$$

$$\text{ص}_٢ = ٢,٨٥ \times \left(\frac{٢}{٤}\right)$$

$$\text{ص}_٣ = ٢,٨٥ \times \left(\frac{٣}{٤}\right)$$

ويمكن أن نستمر هكذا حتى نقطة (٨) ثم نكمل الخطوات كما سبق أو يمكن إيجاد المناسيب على المماس ح ب بنفس الطريقة التى أوجدنا بها مناسيب المماس ا ب ، أى أن مناسيب النقط على المماس .

$$\text{منسوب المحطة ٧} = ١٦٦,٤٠ + \frac{٢,٥}{١٠٠} \times ٥٠$$

( حيث ١٦٦,٤٠ منسوب ح كما سبق إيجاده ) .

$$\text{منسوب المحطة ٦} = ١٦٦,٤٠ + \frac{٢,٥}{١٠٠} \times ٢ \times ٥٠$$

$$\text{منسوب المحطة ٥} = ١٦٦,٤٠ + \frac{٢,٥}{١٠٠} \times ٣ \times ٥٠$$

ومناسيب النقط على المنحنى .

لإيجاد مناسيب النقط على المنحنى نأق بمقدار :

$$\text{ص}_١ = ٢,٨٥ \times \left(\frac{١}{٤}\right)$$



$$ص_٦ = \left(\frac{2}{4}\right) \times 2,85 =$$

$$ص_٥ = \left(\frac{3}{4}\right) \times 2,85 =$$

ونطرح ص<sub>٦</sub> ، من منسوب المحطة ٧ ، ص<sub>٦</sub> من منسوب المحطة ٦ ، وبالمثل للمحطة ٥ للحصول على مناسيب نقط المنحنى .

مثال ٢ - يراد توصيل إنحدار إلى أسفل قدره ١٪ وإنحدار إلى أعلى قدره متر واحد كل ٣٠٠ متر بمنحنى رأسى بمعدل تغير فى الانحدار قدره ٠,٥٥٥ ، فإذا كان منسوب نقطة تقاطع الأنحدارين ١١٨,٩٥ فعين مناسيب النقط المختلفة على المنحنى وعين كذلك منسوب أوطى نقطة على المنحنى وبعد هذه النقطة عن أول المنحنى .

**الحل :**

فى شكل ( ٢١٥ ) :

$$طول المنحنى = ل = \frac{١ - ٢}{٣} \times ١٠٠$$

$$ل = \frac{١ - \frac{٨}{٣}}{٠,٥٥٥} \times ١٠٠$$

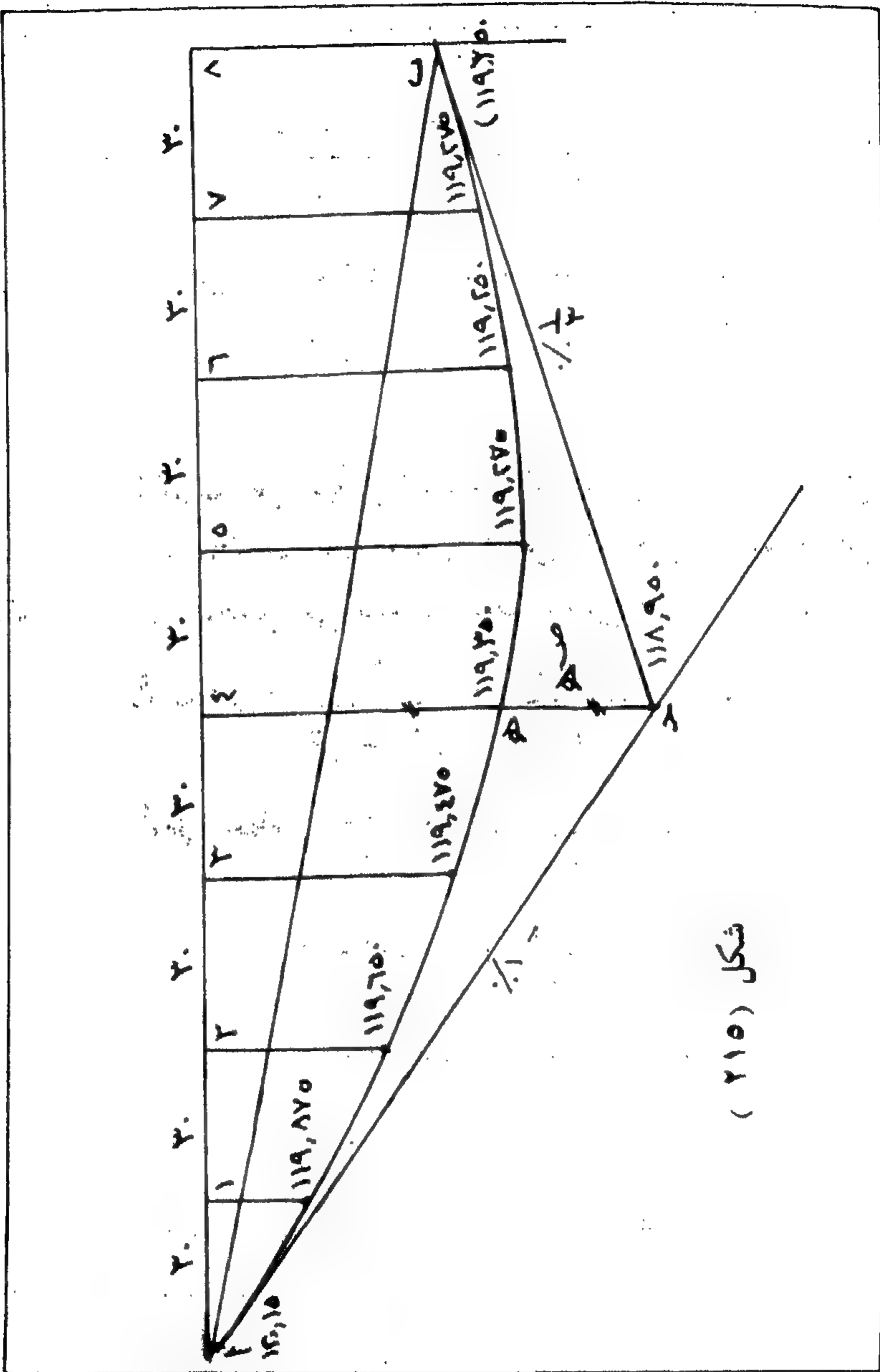
$$= \frac{١٠٠ \times ٤}{٠,٥٥٥ \times ٣} = ٢٤٠ \text{ مترا}$$

$$منسوب أول نقطة = ١١٨,٩٥ + \frac{٢٤٠}{٢} \times \frac{١}{١٠٠} =$$

$$= ١٢٠,١٥ = ١,٢٠ + ١١٨,٩٥ =$$

$$منسوب آخر نقطة = ١١٨,٩٥ + \frac{٢٤٠}{٢} \times \frac{١}{١٠٠ \times ٣} =$$





شكل ( ٢١٥ )



$$119,35 = 0,40 + 118,95 =$$

$$119,75 = \frac{120,15 + 119,35}{2} = \text{منسوب د}$$

$$119,35 = \frac{119,75 + 118,95}{2} = \frac{د + ح}{2} \text{ منسوب هـ}$$

$$0,40 = 118,95 - 119,35 = \text{ص د}$$

$$0,025 = \frac{0,4}{16} = \frac{\text{ص}}{\text{س}^2} = 1 \therefore \text{ص د} = 1 \text{ س}^2$$

ولإيجاد المناسيب على المنحنى نحسب المناسيب على المماس أ ح كل ٣٠ مترا ونحسب المسافة ص (الأحداثي الرأسى للمنحنى) وتطرح ص من مناسيب المماس لنحصل على مناسيب نقط المنحنى كما فى الجدول (٢٨).

$$\text{المسافة الأفقية ف} = \frac{\text{ل د}}{\text{هـ} - \text{د}} = \frac{3 \times 240}{4} = 180 \text{ متر}$$

$$\text{منسوب أوطى نقطة} = 120,15 - 180 \times \frac{1}{100}$$

$$+ \left( \frac{180}{30} \right) \times 0,025$$

$$= 0,90 + 1,80 - 120,15 =$$

$$119,25 =$$

ويمكن حساب ذلك بأن أوطى نقطة ناحية النصف الثانى من المنحنى فيحسب المنسوب من ب .

$$\text{منسوب أوطى نقطة} = 119,35 - 60 \times \frac{1}{300} + 60 \times \left( \frac{70}{120} \right) \times 0,4$$

$$= 119,25 \text{ متر}$$



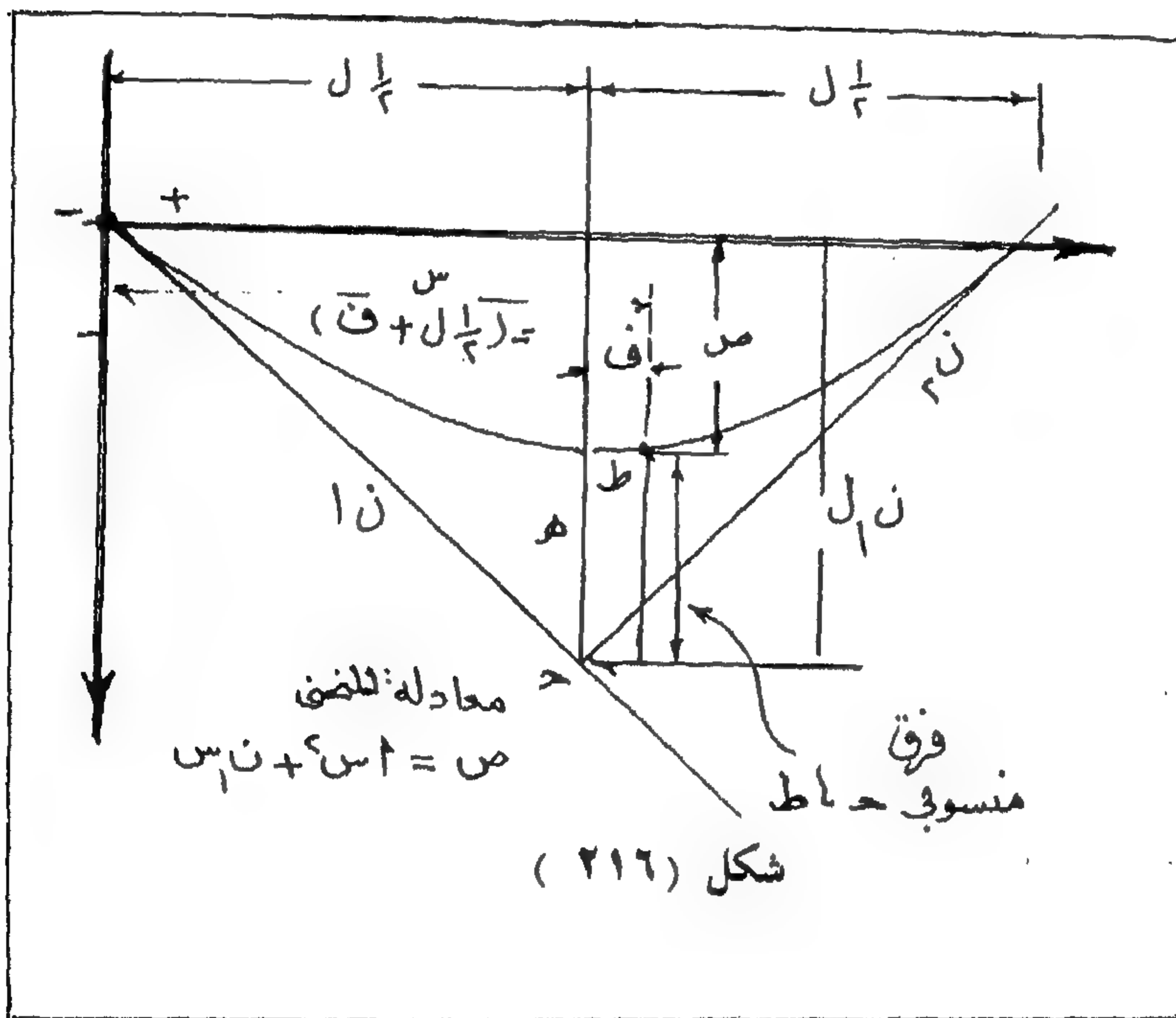
جدول ( ٢٨ )

النقطة	المسافة	مناسيب المماس	الأحداثي الرأسي ص	مناسيب المنحني	الفروق	
					أول	ثاني
١	صفر	١٢٠,١٥	صفر	١٢٠,١٥٠		
١	٣٠	١١٩,٨٥	٠,٠٢٥	١١٩,٨٧٥	— ٢٧٥,	٠,٠٥٠
٢	٦٠	١١٩,٥٥	٠,١٠٠	١١٩,٦٥٠	— ٢٢٥,	٠,٠٥٠
٣	٩٠	١١٩,٢٥	٠,٢٢٥	١١٩,٤٧٥	— ١٧٥٠,	٠,٠٥٠
٤	١٢٠	١١٨,٩٥	٠,٤٠٠	١١٩,٣٥٠	— ١٢٥٠,	٠,٠٥٠
٥	١٥٠	١١٨,٦٥	٠,٦٢٥	١١٩,٢٧٥	— ٠٧٥,	٠,٠٥٠
٦	١٨٠	١١٨,٣٥	٠,٩٠٠	١١٩,٢٥٠	— ٠٢٥,	٠,٠٥٠
٧	٢١٠	١١٨,٠٥	١,٣٢٥	١١٩,٢٧٥	٠٢٥,	٠,٠٥٠
٨	٢٤٠	١١٧,٧٥	١,٦٠٠	١١٩,٣٥٠	٠٧٥,	



تعيين طول منحنى رأسى يمر بنقطة محددة

في كثير من الأحوال ، خاصة أثناء تصميم المنحنيات الرأسية في المكتب ، نجد أنه من الضروري إيجاد طول المنحنى الذى يمس خطين معلومين ويمر بنقطة معلومة . هذه النقطة ( ط ) شكل ( ٢١٦ ) قد تكون نقطة تقاطع طريقين آخرين أو تقابل المنحنى المطلوب بعمل صناعى معين .



والكميات المعطاة غالباً ما تكون الأنحدارين  $h_1$  ،  $h_2$  ، ومنسوب وتدرج النقطة ( ط ) ، ومنسوب وتدرج أبتداء المنحنى أو نقطة تقاطع المماسين . وفي جميع الأحوال تعوض بالقيم المعلومة بدلالة طول المنحنى في المعادلة  $v = a s^2 + b s$  مع مراعاة الأشارات الجبرية ومنها نوجد طول المنحنى ( ل ) .

مثال ١ - معلوم  $١٥ = ٢٠ - ٤,٢\%$  ،  $٢٥ = ١٥ + ١,٦\%$  ، تدريج ط =  $١٧,٠٠$  ، منسوب ط =  $٦١٤,٠٠$  . عين طول المنحنى في الحالات التالية .



الحالة الأولى : إذا علم منسوب وتدرج ابتداء المنحنى :

معلوم نقطة ابتداء المنحنى ( ١ ) تدرجها = ١٣,٠٠ ( التدرج هنا بمئات الأمتار ) .

ومنسوبها ص = ٦٢٤,٥٣ .

الحل :

المعادلة العامة ص = ١ س<sup>٢</sup> + ٢ س<sup>١</sup> س

$$ص = ٦٢٤,٥٣ - ٦١٤,٠٠ = ١٠,٥٣$$

$$١ = \frac{١ - ٢}{٢} = \frac{١ - ٢}{٢} = ١$$

$$\frac{٥,٨}{٢} =$$

لاحظ في معادلة ١ أن ه<sub>٢</sub> في الأول ضرورى .

وبالتعويض في المعادلة العامة للمنحنى .

$$١٠,٥٣ - \frac{٥,٨}{٢} = ١(٤) - ٢(٤)(٤,٢)$$

$$لأن س = ١٧ - ١٣ = ٤$$

ومنها ل = ٧,٤٠ حيث ل بمئات الأمتار .

الحالة الثانية : إذا علم منسوب وتدرج نقطة تقاطع الانحدارين :

معلوم نقطة تقاطع الانحدارين : تدرجها ١٦,٧٠ ومنسوبها ٦٠٨,٩٩ :

$$ص = \frac{١ - ٢}{٢} + (٦٠٨,٩٩ - ٦١٤,٠٠)$$

$$\frac{٤,٢}{٢} + ٥,٠١ = \frac{٥,٨}{٢} (٠,٣ + \frac{١}{٢}) - ٢(٠,٣ + \frac{١}{٢}) \times ٤,٢$$



لأن ف = ٠,٣ = تدرج ط - تدرج ح

$$٠,٣ = ١٧,٠٠ - ١٦,٧٠$$

ومنها ل = ٧,٤٠ بمئات الأمتار .

مثال ٢ - معلوم  $١,٥ = - ٤,٢\%$  ،  $٢,٥ = + ١,٦\%$  . عين طول المنحنى إذا كان منسوب أوطى نقطة فيه هو ٦١٣,٣٨ ومنسوب نقطة تقاطع الأنحدارين هو ٦٠٨,٩٩ م .

**الحل :**

$$\frac{٥,٨}{ل٢} = \frac{(٤,٢ - ) - ١,٦}{ل٢} = \frac{١,٥ - ٢,٥}{ل٢} = ١$$

$$\frac{ل٤,٢ - }{٥,٨ - } = \frac{ل١,٥ - }{٢,٥ - ١,٥} = س$$

$$ص = \frac{ل٤,٢}{٢} - (٦٠٨,٩٩ - ٦١٣,٣٨)$$

وبالتعويض في المعادلة العامة .

$$\left( \frac{ل٤,٢ - }{٥,٨ - } \right) ٤,٢ - ٢ \left( \frac{ل٤,٢ - }{٥,٨ - } \right) \frac{٥,٨}{ل٢} = ٤,٢٩ + \frac{ل٤,٢ - }{٢}$$

ومنها ل = ٧,٤٠ بمئات الأمتار .

مثال ٣ - المطلوب طول المنحنى الذى يصل بين أنحدارين  $+ ٣,٢\%$  ،  $- ٢,٥\%$  علماً بأن منسوب نقطة تقاطع الأنحدارين هي ٧١,٤ وتدرجها ١٢٠ إذا كان هذا المنحنى يمر بنقطة تدرجها ١٢١ ومنسوبها ٦٨,١٩ .

**الحل :**

المعادلة العامة للمنحنى هي ص = ا س + س

$$\frac{٥,٧ - }{ل٢} = \frac{٣,٢ - ٢,٥ - }{ل٢} = \frac{١,٥ - ٢,٥}{ل٢} = ١$$



$$1 + \frac{J}{2} = (120 - 121) + \frac{J}{2} = \text{س}$$

$$(68,19 - 71,40) - \frac{J}{2} = \text{ص}$$

$$3,21 - \frac{J}{2} = \text{ص}$$

وبالتعويض :

$$(1 + \frac{J}{2}) 3,2 + 2(1 + \frac{J}{2}) \frac{5,7}{J} = 3,21 - \frac{J}{2} +$$

ومنها  $J = 4$  بمئات الأمتار .

مثال 4 — عين طول المنحنى إذا كانت أعلى نقطة به منسوبها 68,60 ويصل أنحدارين + 3,2 % ، — 2,5 % ومنسوب نقطة تقاطع الانحدارين هي 71,40 .

الحل :

$$\frac{J}{5,7} = \frac{J}{2} = \text{س}$$

$$(68,60 - 71,40) - \frac{J}{2} + = \text{ص}$$

$$\frac{5,70}{J} = \frac{1}{J} = 1$$

وبالتعويض في المعادلة العامة  $\text{ص} = 1\text{س} + 2\text{س}$

$$(\frac{J}{5,7}) 3,2 + 2(\frac{J}{5,7}) \frac{5,7}{J} = 2,8 - \frac{J}{2}$$



$$\frac{L \times 3,2 \times 3,2}{5,7} + L \times 1,6 \times \frac{3,2}{5,7} = 2,8 - L \times 1,6$$

$$(1,60) L \times 3,2 = (2,8 - 1,6) 5,7$$

∴ L = 4,00 بمئات الأمتار .

## تطبيقات على المنحنيات الرأسية

### المنحنيات الرأسية المركبة

يتكون المنحنى الرأسى المركب من منحنين رأسيين بسيطين أو أكثر ولهما مماس مشترك عند نقطة تلاقيهما وهو يستعمل عندما لا تسمح الظروف المحلية باستعمال منحنى رأسى بسيط . وتجرى حسابات كل منحنى رأسى بسيط على حدة أى ا م ، م ب كل على حدة كما فى شكل ( ٢١٧ ) .

حيث أن ح<sub>١</sub> ، ح<sub>٢</sub> فى منتصف ا ح ، ب ح على الترتيب .

فإن م ح = م ب

$$\text{ميل ا ب} = \text{ميل المماس المشترك ح ح}_2 = \frac{h_1 L_1 + h_2 L_2}{L_1 + L_2}$$

حيث ل<sub>١</sub> ، ل<sub>٢</sub> بمئات الأمتار ومع مراعاة إشارات ه<sub>١</sub> ، ه<sub>٢</sub>

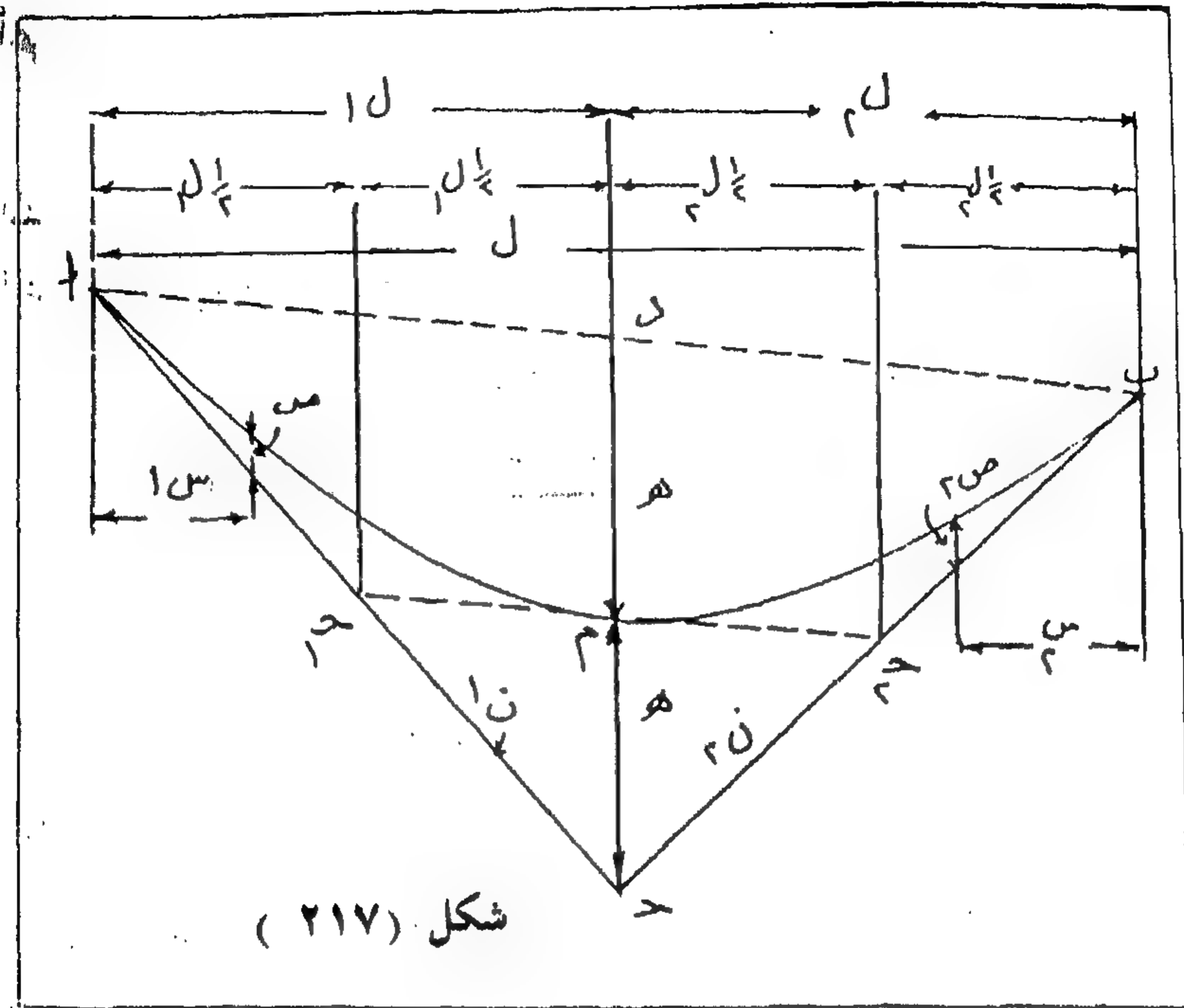
(١٦٥) .....

وبذا فإن معدل أبتعاد ح<sub>١</sub> م ، ح<sub>١</sub> ح عن بعض =  $\frac{h_1 L_1 + h_2 L_2}{L_1 + L_2} - n_1$

م ح = مقدار الابتعاد فى المسافة  $\frac{1}{2} L_1$

$$= \frac{1}{2} L_1 \left( h_1 - \frac{h_1 L_1 + h_2 L_2}{L_1 + L_2} \right)$$





$$h = \frac{L_1 h_1 - L_2 h_2}{L_1 + L_2} \cdot \frac{1}{2} =$$

(١٦٦) .....

$$h = \frac{(h_1 - h_2) L_1 L_2}{(L_1 + L_2) 2}$$

حيث  $L_1$  ،  $L_2$  بمئات الأمتار ،  $h$  بالمتر .

(١٦٧) .....

$$ص_1 = h \cdot \left( \frac{L_1}{L_2} \right)^2 ، ص_2 = h \cdot \left( \frac{L_2}{L_1} \right)^2$$



أعلى أو أوطى نقطة على المنحنى الرأسى المركب :

ان أعلى أو أوطى نقطة على المنحنى الرأسى المركب قد تقع على أى من المنحنيين وموقعها يتوقف على مقدار انحدارى المماسين وكذلك طول كل من المنحنيين . ولإيجاد موقع هذه النقطة نتبع الخطوات التالية :

١ - نحسب مقدار ميل المماس المشترك من المعادلة ( ١٦٥ ) السابقة .

$$\text{ميل المماس المشترك} = \frac{h_1 l_1 + h_2 l_2}{l_1 + l_2}$$

ميل المماس له حالتان :

١ - أن يساوى الصفر وفى هذه الحالة تكون أوطى أو أعلى نقطة عند نقطة تقابل المنحنيين .

ب - أن تكون إشارته مثل إشارة  $h_1$  وبذا لا تقع أعلى أو أوطى نقطة على المنحنى الأول بل تقع على المنحنى الثانى وبالمثل لو كانت الإشارة مثل إشارة  $h_2$  فإنها تقع على المنحنى الأول ومبين ذلك فى المثال (٢) .

مثال ( ١ ) :

$$\begin{aligned} \text{معلوم } h_1 &= -3\% , h_2 = +2\% , l = 400 \text{ متر} , \\ l_1 &= 150 \text{ متر} , l_2 = 250 \text{ متر} , s_1 = 50 \text{ متر} , \\ s_2 &= 100 \text{ متر أوجد } h , v_1 , v_2 . \end{aligned}$$

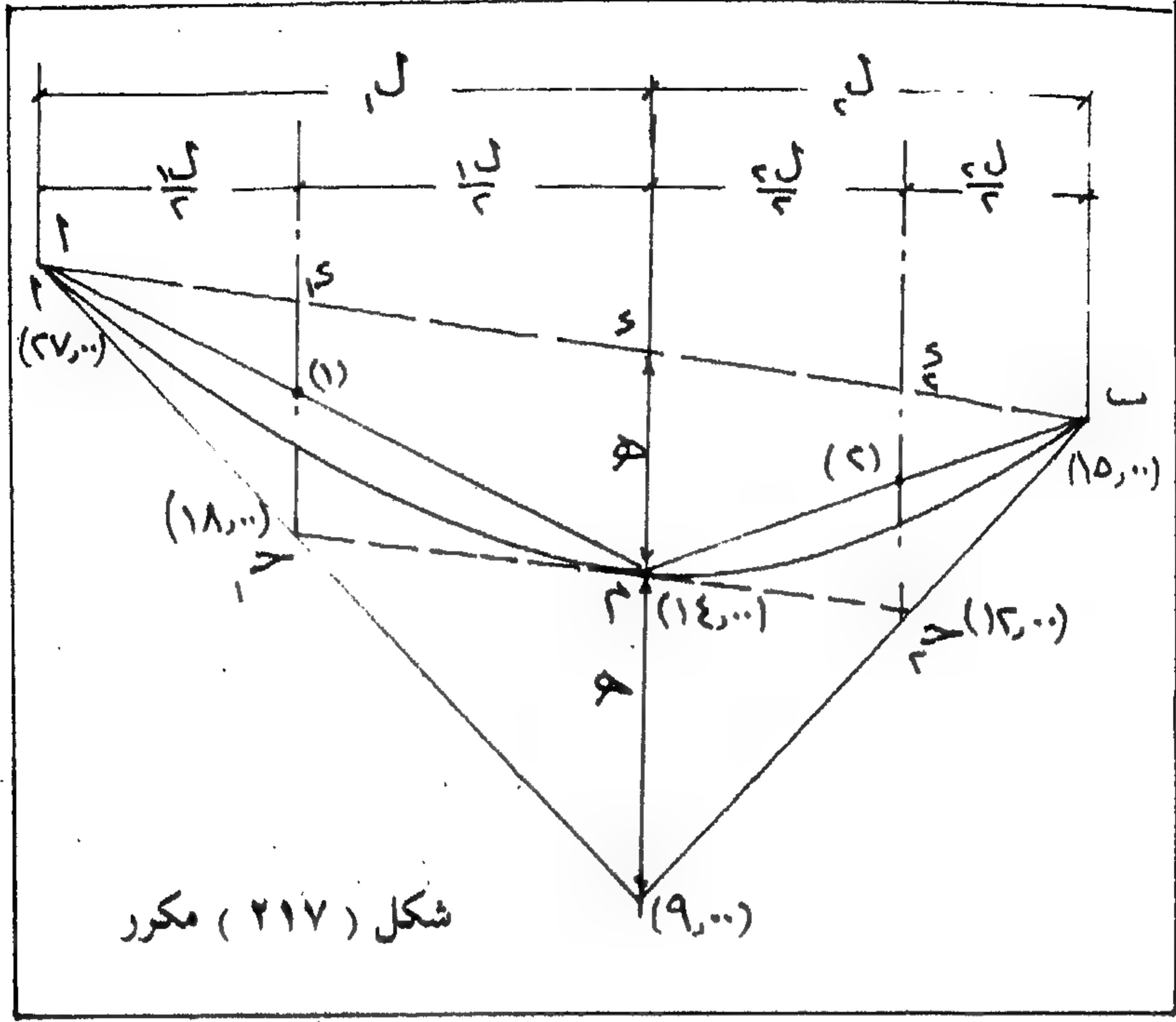
الحل :

$$h = \frac{2,50 \times 1,50}{(2,50 + 1,50)^2} \times (2,00 + 3,00) = 2,34 \text{ متراً}$$

$$v_1 = 2,34 \times \left( \frac{1,50}{2,50} \right)^2 = 0,26 \text{ من المتر}$$

$$v_2 = 2,34 \times \frac{1}{(2,50)} = 0,38 \text{ من المتر}$$





مثال (٢) :

المعلوم منحنى رأسى مركب من منحنين رأسيين بسيطين يتقابلان فى نقطة م منسوبها ( ١٤,٠٠ ) ويضلل انحداريه  $\theta_1 = - 3\%$  ،  $\theta_2 = + 2\%$  ، فإذا كان  $L_1 = 600$  متر ،  $L_2 = 300$  متر فعين :

- ١ — مناسب بداية ونهاية المنحنى المركب .
- ٢ — مناسب منتصف كلاً من المنحنين البسيطين .
- ٣ — منسوب منتصف المنحنى المركب .
- ٤ — منسوب وبعد أوطى نقطة على المنحنى المركب من البداية .

الحل :

- ١ — لتحين منسوب بداية ونهاية المنحنى المركب ( ١ ) ، ( ٢ ) لابد من حساب المسافة  $H$  أولاً .



$$\frac{(1.5 - 2.5) \times 1.5}{(1.5 + 1.5) \times 2} = 0$$

$$0 = \frac{0 \times 18}{9 \times 2} = \frac{(3 + 2) \times 3 \times 6}{(3 + 6) \times 2} = 0$$

$$(9,00) = 0 - 14,00 = (ح)$$

$$1.5 \times 1.5 + (ح) = (أ)$$

$$(27,00) = 18 + 9 = 6 \times 3 + (ح) = (أ)$$

$$1.5 \times 2.5 + (ح) = (ب)$$

$$(15,00) = 6 + 9 = 3 \times 2 + 9 =$$

٢ - لتعين مناسيب منتصف كلاً من المنحنين .

$$1.5 \times \frac{1.5}{2} - (أ) = (ح)$$

$$3 \times \frac{6}{2} - 27,00 =$$

$$(18,00) = 9 - 27 = (ح)$$

$$(12,00) = 2 \times \frac{3}{2} - 15,00 = (ح)$$

$$\%1,333 = \frac{6,00}{450} = ح$$

$$\frac{(14 - 27)}{2} - 27 = (أ) \text{ منسوب منتصف الوتر (1)}$$

$$(20,5) = 6,5 - 27 =$$

$$\frac{(14 - 15)}{2} + 14 = (2) \text{ منسوب منتصف الوتر (2)}$$

$$(14,50) =$$



منسوب منتصف المنحنى الأول =

$$19,25 = \frac{18 + 20,5}{2} = \frac{(1) + (2)}{2}$$

منسوب منتصف المنحنى الثاني =

$$13,25 = \frac{14,50 + 12,00}{2} = \frac{(2) + (3)}{2}$$

٣ - لايجاد منسوب منتصف المنحنى المركب :

منتصف المنحنى المركب هي النقطة الواقعة على مسافة ٤٥٠ مترا من ا في نطاق المنحنى الأول ولايجاد منسوبها نحسب منسوب النقط على المماس ا ح ثم

$$\text{منسوب المنتصف على المماس} = 27 = 3 \times 4,50 - 13,50$$

$$\text{ص} = 1 \text{ هـ} \left( \frac{1 \text{ ص}}{1 \text{ ل}} \right)^2$$

$$2,81 = 5 \left( \frac{4,50}{6} \right)^2 =$$

$$\text{منسوب منتصف المنحنى} = 13,50 + 2,81 = (16,31)$$

٤ - لتحديد أوطى نقطة على المنحنى المركب :

$$\text{ميل المماس المشترك} = \frac{\frac{1 \text{ هـ}}{1 \text{ ل}} + \frac{2 \text{ هـ}}{2 \text{ ل}}}{\frac{1 \text{ ل}}{1} + \frac{2 \text{ ل}}{2}}$$

$$= \frac{3 - 12}{3 + 6} = -\frac{4}{3} \text{ كل } 100 \text{ متر}$$

وبما أن ميل المماس المشترك سالب ، هـ سالبة فإن أوطى نقطة لا تقع على المنحنى الأول . وتقع على المنحنى الثاني حيث أول انحدار هو  $-\frac{4}{3} \%$  ،

الأنحدار الثالث + ٢ % .



$$f_2 \text{ (من نهاية المنحنى الثانى) } = \frac{h_2 L_2}{h_2 - h_1 \text{ (المماس المشترك)}}$$

$$= \frac{300 \times 2}{\frac{4}{3} + 2} = 180 \text{ متر}$$

$$\text{منسوب المماس عند أوطى نقطة} = 15,00 = 2 \times \frac{180}{100} = 11,40 \text{ متر}$$

$$\text{ص} 180 = 5 \times 2 \left( \frac{180}{300} \right) = 1,80 \text{ متر}$$

$$\therefore \text{منسوب أوطى نقطة} = 1,80 + 11,40 = 13,20 \text{ متر}$$



## مسائل

١ — منحني رأسي يصل بين أنحدارين  $a$  ب إلى أسفل بمقدار ثلاثة أمتار كل جنزير ، ب ح إلى أعلى بمقدار ٢٤ في المائة وطول المنحني ٢٤٠ متراً ومنسوب نقطة س على ب ح ، والتي تبعد عن ح بمقدار ٤٥ متراً هو (٨,٤ -) متر . أوجد المناسيب كل ٣٠ متراً مع تحقيق العمل . وما منسوب أوطى نقطة وبعدها عن نهاية المنحني .

٢ — منحني رأسي يصل بين إنحدارين ١,٨ متر كل جنزير إلى أسفل ، ١٥٪ إلى أعلى وذلك بين  $a$  ، ب . ما مقدار الحفر أو الردم عند النقط المختلفة المين مناسيبها بالجدول .

النقطة	البعد بالمتر	المنسوب بالمتر	النقطة	البعد بالمتر	المنسوب بالمتر
١	صفر	٣٦,٢٠	٥	٢٥٠	٣٧,٦٢
١	٥٠	٣٣,٣٦	٦	٣٠٠	٣٦,٨٧
٢	١٠٠	٣٦,٨٤	٧	٣٥٠	٣٦,١٢
٣	١٥٠	٣٧,٨٢	ب	٤٠٠	٣٥,٨٠
٤	٢٠٠	٣٧,١٨			

٣ — منحني رأسي طوله ٣٠٠ متر يصل بين أنحدارين  $+ ٤,٥\%$  ،  $- ٥\%$  ومنسوب منتصف الأنحدار الأول ١,٩٠ متراً — عين مناسيب نقط المنحني المختلفة لكل ٥٠ متراً من طوله وعين كذلك منسوب أعلى نقطة عليه وبعد هذه النقطة من نهاية المنحني .

٤ — ثلاثة طرق  $a$  ب ،  $a$  ح ،  $a$  د على شكل منحنيات رأسية تتفرع من نقطة  $a$  . المنحني  $a$  ح يصل بين  $a$  ، ح ابتداءً كوبري وطوله ٣٦٠ متر ، إنحدار مماسيه ٤٨ سنتيمتراً إلى أسفل في كل جنزير ، ١٦,٠ متر كل ألف متر



إلى أعلى . ا ب يمر بنقطة تدريجها ٢٣,٥٠ ومنسوبها ١٢,٠٠ وانحدارا مماسيه ٥,٢٪ إلى أعلى ، ٢,٢ إلى أسفل ، ا د انحدارا مماسيه كما في ا ب تماماً ولكنه يبدأ من نقطة بعد ا على الطريق غير معلوم تدريجها ولكن هذا المنحنى يمر بنقطة س تدريجها ٢٤,٢٠ ، وتدرج نقطة تقاطع مماسيه ٢٣,٧٠ ومنسوبها ١٨,١ ومنسوب س = ١٤,٤٠ .

تدرج ا = ١٨,٠٠ ومنسوبها ٦,٦٤ التدرج بمئات الأمتار والمطلوب :  
أولاً : منسوب أوطى نقطة على المنحنى ا ح ، بعد هذه النقطة عن إبتداء الكوبرى .

ثانياً : طول المنحنى الرأسى ا ب .

ثالثاً : طول المنحنى الرأسى ا د .

٥ — منحنى رأسى يصل بين انحدارين — ١٠٪ إلى أسفل إلى اليمين والثانى + ١٢٪ إلى أعلى إلى اليمين توجد نقطة د على الأنحدار الأول تدريجها ٣٤,٠٠ ومنسوبها ٦٧,١٠ متراً ، بينما توجد نقطة هـ على الأنحدار الثانى تدريجها ٣٥,٠٠ ومنسوبها ٦٩,١٠ متراً . ما طول المنحنى الرأسى الذى يمر بنقطة و وتدرجها ٣٤,٦٠ ومنسوبها ٦٤,٦٠ متراً . ما هى أوطى نقطة على المنحنى وما منسوبها ؟

٦ — منحنى رأسى يصل بين انحدارين ا ب ، ب ح وكان طول المنحنى ١٥٠ متراً وانحدار ا ب إلى أعلى بمقدار ٢٦٪ وانحدار ب ح إلى أسفل بمقدار ٣,٣٦ م كل جنزير إلى أسفل وكان منسوب (ب) = (١٤,٨٥) متراً، أوجد فى جدول مناسب النقط كل ٢٥ متر مع تحقيق العمل الحسابى للمناسيب على المنحنى — وإذا كان تدرج نقطة التقاطع فى الأنحدارات السابقة هو ١٨,٦ متر وبنفس المنسوب السابق — كم يكون طول المنحنى المار بالمنحدرين ونقطة د التى منسوبها متران تحت سطح البحر وتكون أعلى نقطة فيه .

٧ — منحنى رأسى طوله ٣٠٠ متر يصل بين انحدارين + ١١,٧٪ ، - ١٧,٨٪ فإذا أريد زيادة طول المنحنى إلى ٤٨٠ متر بحيث يتعدل الأنحدارين



ليصبحا متساويين — عين قيمة الانحدار الجديد إذا ظل معدل التغيير ثابتاً في الحالتين .

٨ — قرب مدخل الاسكندرية يوجد طريقان على جانبي السكة الحديد ومتعامدان معها . يراد إنشاء كوبرى علوى على شكل منحنى رأسى ليصل بين الطريقين فوق خط السكة الحديد . فإذا كان انحدار الطريق الأول ١ إلى ٢٥ إلى أعلى وانحدار الطريق الثانى إلى ٣٠ إلى أسفل وكان الكوبرى العلوى لابد أن يمر على إرتفاع معقول فوق السكة ، فصمم على أن يكون منسوبه فوق نقطة مركز خط السكة تماماً يساوى ٢,٢٠ ومتراً وبعد هذه النقطة من بدء التدرج يساوى ٢,٥ كيلو متر . فإذا كانت نقطة تقاطع الماسين عند تدرج ٢٥,٤ ومنسوبها ٣,٦٠ متر . فاجد :

أولاً — طول منحنى الكوبرى .

ثانياً — أعلى نقطة على الكوبرى من مركز خط السكة الحديد .

ثالثاً — إذا كان الكوبرى سيحمل على أعمدة تقام قواعدها على الخط الواصل بين طرفى المنحنى فأوجد ارتفاع العمود الأول المقام على بعد ٢٠ متراً من بداية المنحنى وارتفاع العمود عند أعلى نقطة على المنحنى .

٩ — ثلاث طرق في منطقة جبلية تتلاقى جميعاً في نقطة واحدة هي نقطة ح التي منسوبها ٤,١٦ متر وتدرجها ٤٨,٠٠ فإذا كان ما هو معلوم عن الطرق الثلاث هو ما يلي :

طريق (١) : هـ = ٨٠ - سنتيمتر كل جنزير ، هـ = ٣٠ سم كل جنزير وتدرج أوله ٤٣,٠٠ ومنسوب أوله = ١٢,٦٠ .

طريق (٢) : هـ ، هـ كما في الطريق الأول ولكن الطريق محدب إلى أعلى نقطة تقاطع الماسين ٤٧,٤٠ ومنسوبها ٩,١٠ م .

طريق (٣) : هـ = ٦,٠ + في المائة ، هـ = ٤,٢ - في المائة ح هي أعلى نقطة فيه ونقطة تقاطع الماسين كما في الطريق الثانى .

أوجد طول كل من الطرق الثلاثة .



١٠ — المنحنى مقعر انحداره الأول — ٣,٦٪ إلى أسفل وانحداره الثاني + ٣,٠٪ يراد إيجاد طول هذا المنحنى إذا كان سيمر بنقطة تدريجها ٧,٠٠٠ ومنسوبها ٢٣,٠٠ .

أولاً — إذا كانت نقطة ابتداء المنحنى تدريجها صفر ومنسوبها ٣٤,٤٢ .  
ثانياً — إذا كانت نقطة تقاطع المماسين تدريجها ٦,٤٠ ومنسوبها ١٨,٠٠ .  
ثالثاً — إذا كانت النقطة التي سيمر بها أوطى نقطة على المنحنى ومنسوبها هو ٢٢,٢ متراً ونقطة تقاطع المماسين كما في ثانياً . التدرج بمئات الأمتار .

١١ — منحنى رأسى يمثل طريق يصل بين انحدارين ، الأول انحداره متر ونصف كل جنزير إلى أعلى ، والثاني انحداره إلى أسفل بمقدار ١ : ٢٥ فإذا كانت نهاية المنحنى عند نقطة في مستوى سطح البحر وأريد إنشاء نقطة لمراقبة المرور في أعلى نقطة على الطريق مع إنشاء طريق جديد متعامد مع الأول ، ويشترط أن تكون نقطة المرور هي أعلى نقطة فيه أيضاً ويبدأ هذا الطريق من قرية تبعد عن نقطة المرور المقترحة ٢٥٠ متراً وعلى أن يكون طول الطريق كله ٤٠٠ متراً . ما منسوب القرية إذا علم أن انحدارى الطريق الجديد متساويان صعوداً وهبوطاً وما منسوب أول نقطة على الطريق وتبعد بمقدار ٥٠ متراً عن القرية ، طول الطريق الأول = ٦٠٠ متر .

١٢ — منحنى رأسى يصل بين انحدارين ا ب ، ب ح وكان طول المنحنى ١٥٠ متراً وانحدار ا ب إلى أعلى بمقدار ٢٢٪ . وانحدار ب ح إلى أسفل بمقدار ٣,٠٠ جنزير إلى أسفل وكان منسوب ب يساوى ١٤,٨٥ متر . أوجد في جدول مناسب النقط كل ٢٥ متر مع تحقيق العمل الحسنى للمناسيب على المنحنى .

وإذا كان تدرج نقطة التقاطع في الأنحدارات السابقة هو ١٨,٤ وبنفس المنسوب السابق كم يكون طول المنحنى المار بالمنحدرين ونقطة د التي منسوبها متر ونصف تحت سطح البحر وتكون أعلى نقطة فيه .

١٣ — منحنى مقعر انحداره الأول ٤,٨ متر لكل ٥٠ متراً إلى أسفل



وانحداره الثانى ٠,٦ مترأ فى كل جنزير فى إتجاه إلى أعلى ، يراد إيجاد طول هذا المنحنى إذا كان سيمر بنقطة تدريجها صفراً ومنسوبها ٢٣,٠٠ مترأ .

أولاً — إذا كانت نقطة إبتداء المنحنى تدريجها صفراً ومنسوبها ٣٤,٣٢ م .

ثانياً — إذا كانت نقطة تقاطع المماسين تدريجها ٦,٤٠ ومنسوبها ١٨,٠٠ م .

ثالثاً — إذا كانت النقطة التى سيمر بها المنحنى والمعلومة لدينا هى أوطى نقطة ومنسوبها هو ٢٢,٦ مترأ ونقطة تقاطع المماسين كما فى ثانياً ، التدرج بمئات الأمتار .

١٤ — منحنى يصل بين انحدارين ا ب ، ب ح حيث ينحدر ا ب إلى أعلى بمقدار - ١٨٪ ، ب ح ينحدر إلى أسفل بمقدار متر ونصف كل جنزير وطول المنحنى ٣٠٠ متر ومنسوب نقطة منتصف ا ب = - ١١,٧ متر . ما مناسب النقط كل ٢٥ متر مع تحقيق الحسابات وما منسوب أعلى نقطة .

١٥ — عين طول المنحنى الرأسى الذى يصل بين انحدارين ١ إلى ٢٥ إلى أعلى ، صفر علماً بأن نقطة ابتداءه منسوبها وتدرجها ٢٢,٠٠ ، ٢٤,٠٠ على الترتيب علماً بأن المنحنى يمر بنقطة تدريجها ٢٧,٠٠ ومنسوبها ٣١,٥٠ .

١٦ — منحنى رأسى مركب فيه الأنحدار الأول إلى أعلى بمقدار ١٨٪ والأنحدار الأخير ٢٤٪ إلى أسفل وطول المنحنى الأول ١٢٠ متر والثانى ٢٨٠ متر . أوجد :

أولاً — منسوب أعلى نقطة وبعدها عن آخر المنحنى المركب .  
ثانياً — مناسب النقط على المنحنى المركب كل ٥٠ متر .  
ثالثاً — طول نفق يراد شقه من نقطة منتصف المنحنى الأول إلى منتصف المنحنى الثانى .

١٧ — منحنى رأسى مركب طوله الكلى ٦٠٠ متر ويصل بين انحدارين ا ب ، ب ح الأول ١٠٪ إلى أسفل والثانى ٢٥٪ إلى أعلى وطول المنحنى الرأسى الأول ٢٤٠ متر والثانى ٣٦٠ متر والمطلوب .



أولاً — مناسب المنحنى كله كل ٤٠ متر مرتبة في جدول مع تحقيق العمل الحسابى .

ثانياً — مسافة ومنسوب أوطى نقطة في المنحنى .

ثالثاً — انحدار المماس المشترك للمنحنيين .

علماً بأن منسوب النقطة على ثلث المماس من ناحية ح هي ثلاثة أمتار .

١٨ — منحنى رأسى مركب طوله الكلى ٤٥٠ متر يصل بين ا ب الذى انحداره إلى أعلى ، ب ح الذى انحداره إلى أسفل والانحدارين متساويين وأعلى نقطة فيه تبعد بمقداره ٦٠ متر عن ح ومنسوب ح في مستوى سطح البحر . أوجد ما يلى :

أولاً — طول كل من جزئى المنحنى الرأسى .

ثانياً — إذا فرض أن كل من الانحدارين يساوى ١٢٪ فما منسوب أعلى نقطة وكذلك مناسب النقط كل ٢٠ متر .

ثالثاً — انحدار المماس المشترك لجزأى المنحنى .

١٩ — منحنى رأسى يصل بين ا ب الذى ينحدر إلى أسفل بمقدار ٥ متر كل جنزير إلى ب ثم ب ح بانحدار إلى أعلى قدره ٤٠ متراً كل نصف كيلو متر . فإذا كان منسوب النقطة التى في ثلث المسافة ب ح من ناحية ب = ٨ متر تحت سطح البحر وكان طول المنحنى ٢٤٠ متر المطلوب :

أولاً — إيجاد المناسب على المنحنى في جدول كل ٣٠ متراً مع تحقيق العمل الحسابى .

ثانياً — منسوب أوطى نقطة على المنحنى .

٢٠ — ١ — طريق ينحدر من ا إلى ب بمقدار ١,٨٠ متر لكل جنزير إلى أسفل ومن ب إلى ح بمقدار ٢٠ ( عشرون ) فى المائة إلى أعلى يراد ايصالهما بمنحنى رأسى طوله ٥١٢ متراً ووضع بالوعة صرف عند أوطى نقطة فى المنحنى . أوجد مكان ومنسوب هذه البالوعة إلى ثلث رقم عشرى من المتر .



ب — طريق ينحدر إلى أعلى بمقدار ٣٢ في المائة من أ إلى ب ، ثم بمقدار ٢٥ في المائة إلى أسفل من ب إلى ح . يراد ايصالهما بمنحني رأسي بحيث يمر بنقطة دالتى ستوضع فيها نقطة مراقبة ومنسوبها ٤٨,٦٠ متراً ومنسوب نقطة تقاطع الأنحدارين ٥١,٤٠ متراً . أوجد طول هذا المنحني إلى أقرب متر صحيح — فى الجزء أ من السؤال منسوب ح = ١١,٠ متراً .







## الباب الحادى والعشرون

### مسافة الرؤية

( SIGHT DISTANCE )

#### أولاً — المنحنيات الرأسية المحدبة

أن القدرة على رؤية الطريق مسافة ما أمام قائدى السيارات والعربات ، بحيث تمكنهم من قيادة سياراتهم بأمان ، ذات أهمية قصوى فى تشغيل الطرق بكفاءة عالية ، هذه المسافة تسمى ( مسافة الرؤية ) . ويجب على المهندس عند التصميم أن يأخذ فى الاعتبار مسافة رؤية ذات-طول كاف للسائق بحيث يتحكم فى سرعة سيارته ليتفادى عقبة غير متوقعة فى الطريق ، وكذلك تمكنه فى الطرق ذات الخطوط المزدوجة أن يتخطى ويتجاوز سيارة أمامه دون خطر الاصطدام بسيارة قادمة فى الاتجاه المضاد ، حين ينتقل إلى الخط الآخر أثناء العبور كما فى شكل ( ٢١٨ ) .

ومسافة الرؤية تزود بها المنحنيات الرأسية والأفقية على السواء : وتنقسم مسافة الرؤية إلى قسمين :

#### أولاً — مسافة الإيقاف أو التوقف ( Stopping or non-Passing )

مسافة التوقف هى ذلك الجزء المرئى من الطريق أمام السائق ، ويجب أن يكون الحد الأدنى لمسافة التوقف ما يمكن السائق من أن يوقف بأمان سيارة تسير بأقصى سرعة مسموح بها قبل وصولها إلى عقبة موجودة فى الطريق مثل برمبل ملقى على الأرض . وبينما من المستحسن إطالة مسافة الرؤية عما سبق ، ويجب أن تكون هذه المسافة عند أى نقطة على الطريق كافية على الأقل لسائق غير متمرن من إيقاف سيارته فى الوقت المناسب قبل اصطدامه بالعقبة ( شكل ٢١٨ ) .

ومسافة الإيقاف أو كما يسمونها أيضاً مسافة ( عدم التجاوز ) حسب المواصفات الجارى العمل بها عبارة عن « المسافة من عين السائق ، وتفرض



بأنها على ارتفاع ١,٣٠ متراً (  $\frac{1}{2}$  ٤ قدماً ) فوق سطح الطريق إلى عقبة

ارتفاعها ١٠ سنتيمترات ( ٤ بوصة ) عن أرض الطريق .

ومسافة الايقاف يجب أن تكون متوفرة في جميع أجزاء الطرق ذات الخطوط  
المزدوجة .

### ثانياً - مسافة التجاوز ( Passing Distance )

هي أقصى مسافة مطلوبة لسيارة لتخرج من الخط الذي تسير فيه ، وتنقل  
إلى الخط المجاور لتجاوز سيارة أمامها أيضاً وهي تسير في الخط الأول ثم تعود  
ثانية إلى هذا الخط بأمان دون خطر الاصطدام بسيارة قادمة في الاتجاه المضاد  
أو مضايقة السيارة التي تريد تجاوزها كما في شكل ( ٢١٨ ) .

وتعرف مسافة التجاوز حسب المواصفات ، بأنهما « أطول مسافة بين  
عيني السائقين وتفرض بأنها على ارتفاع ١,٣٠ متراً (  $\frac{1}{2}$  ٤ قدم ) فوق سطح

الطريق » ( شكل ٢١٩ ) .

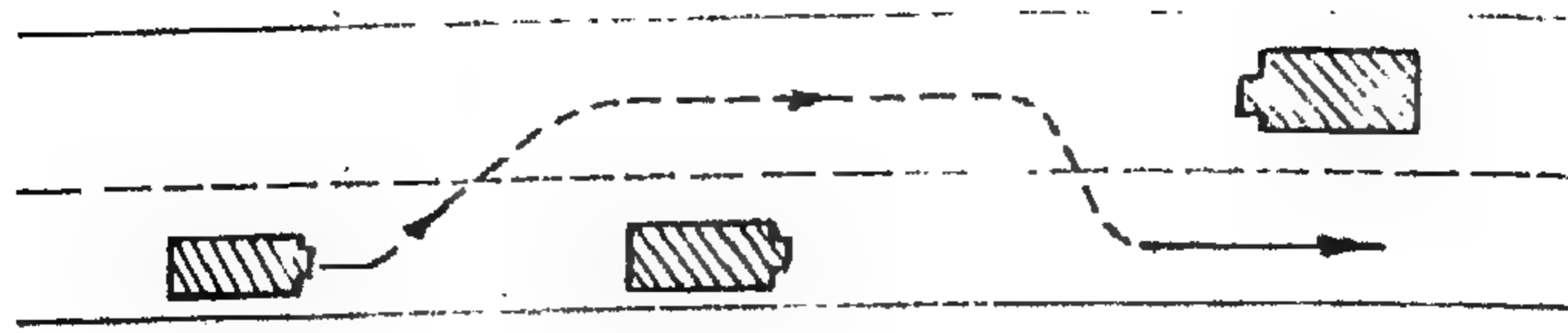
ومسافة التجاوز لا يجب توافرها في جميع أجزاء الطريق ، وإنما يجب توافرها  
من موضع إلى آخر في الطرق ذات الخطوط المزدوجة حسب ما تتطلبه الناحية  
العملية .

والجدول ( ٢٩ ) يبين فكرة واضحة عن علاقة السرعة وكل من نوعي  
مسافة الرؤية حسب المواصفات المتبعة .

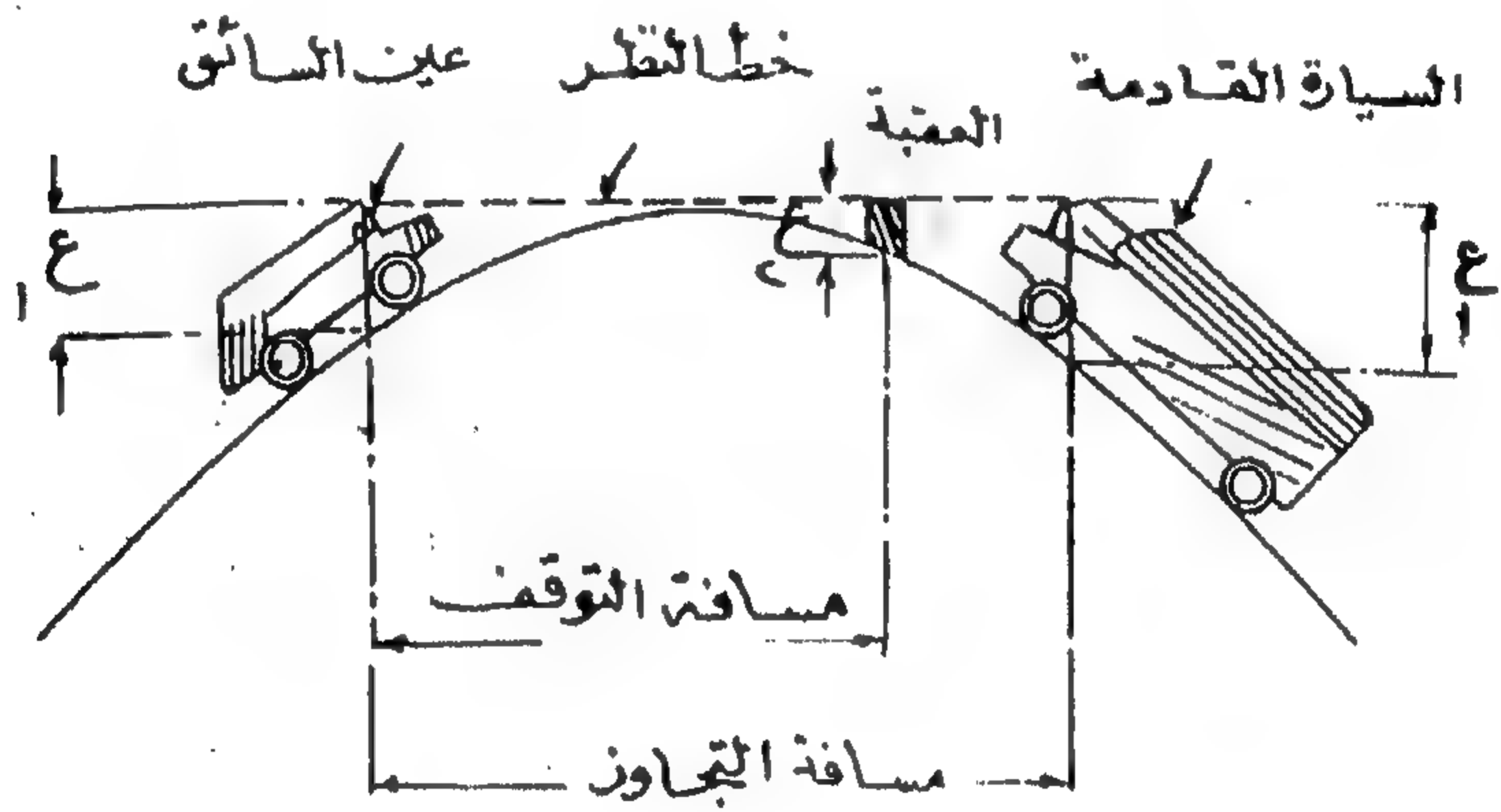
### جدول ( ٢٩ )

السرعة كم / ساعة	٥٠	٦٠	٨٠	١٠٠
مسافة الايقاف (م)	٧٠	٨٥	١٢٠	١٦٥
مسافة التجاوز (م)	٢٤٥	٣٣٥	٥٢٠	٦٤٠





شكل ( ٢١٨ )



شكل ( ٢١٩ )

### علاقة طول المنحنى بمسافة الرؤية

أولاً - طول المنحنى الرأسى ( ل ) أطول من مسافة الرؤية ( ف ) :

نفرض أن  $L =$  طول المنحنى بالأمتار .

$F =$  مسافة الرؤية بالأمتار .

$h_1, h_2 =$  النسبة المئوية للانحدارين .

$h_1 =$  ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق .

$h_2 =$  ارتفاع العقبة عن سطح الطريق .



الحالة الأولى - عندما تكون  $٢ع = ١ع$

كما في حالة مسافة التجاوز ونفرض في هذه الحالة أن :

$١ع = ٢ع = ع$  في شكل ( ٢٢٠ ) :

$$٢ع = ١ع = ع = \frac{١}{٢} \times ١م - س = \frac{١}{٢} \times ٢م \times ف \times س$$

$$وب = ٤ع = (١م \times ٢م) \times \frac{١}{٢} \times ف \dots\dots (١)$$

فإذا كانت  $\alpha =$  التغير الكلى ( مع مراعاة الأشارات الجبرية ) .

$$= (٢هـ - ١هـ)$$

$$\beta = (٢م - ١م)$$

بالتعويض بالمقدار  $\beta$  في ( ١ ) :

$$٤ع = \frac{١}{٢} \times \beta \times ف$$

$$\dots\dots (٢) \quad \frac{٤ع}{ف} = \beta$$

وبما أن طول المنحنى يتوقف على معدل التغير والتغير الكلى أى أن :

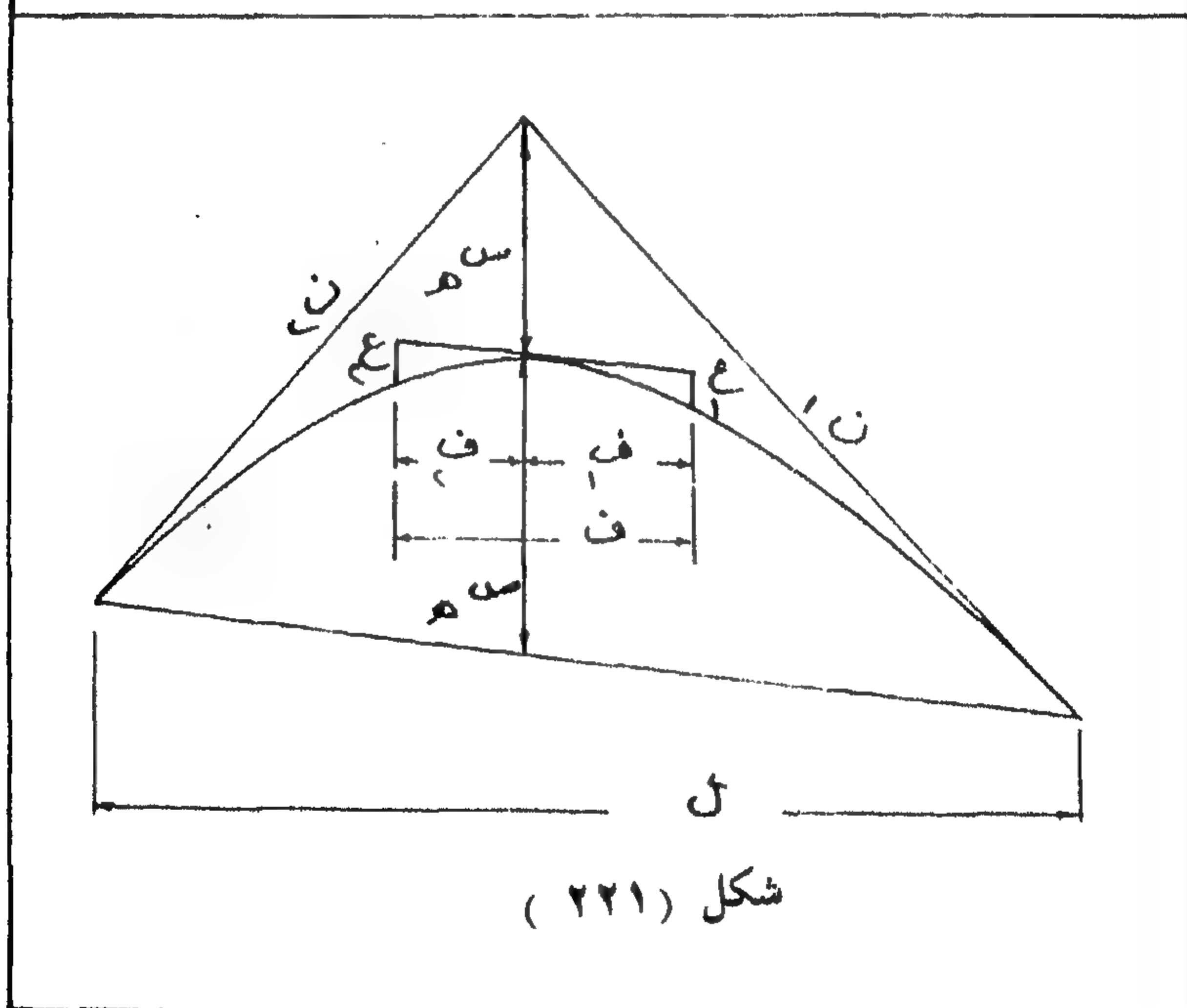
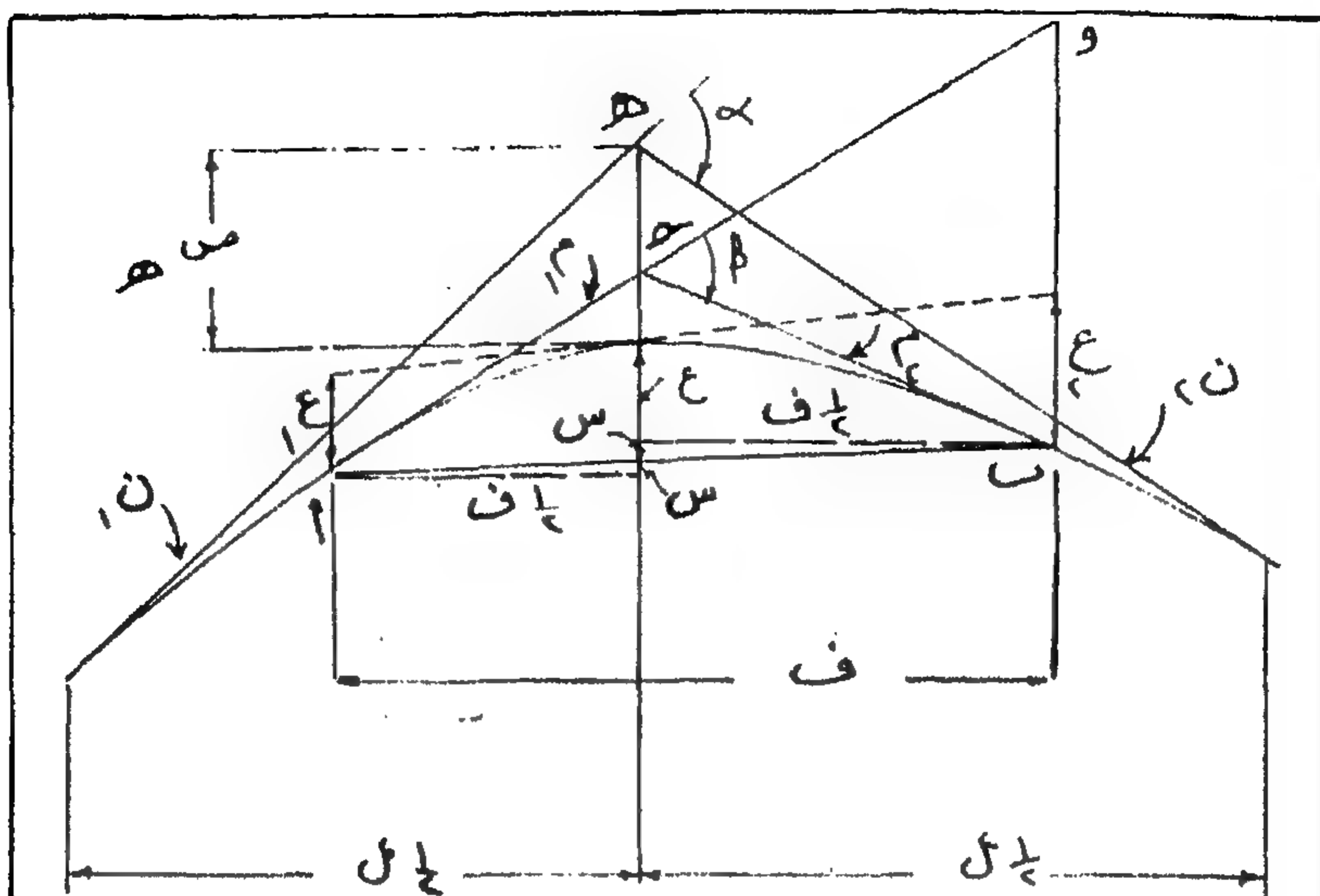
$$ل = \frac{٢هـ - ١هـ}{\text{معدل التغير}} ، ف = \frac{٢م - ١م}{\text{معدل التغير}}$$

وبما أن المنحنى بالنسبة إلى ل هو نفس المنحنى بالنسبة إلى ف فإن معدل التغير واحد في الاثنين أى :

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{٢م - ١م}{٢هـ - ١هـ} = \frac{ف}{ل}$$

$$ل = \frac{\alpha ف}{\beta}$$







وبالتعويض عن  $\beta$  من (٢) :

$$\frac{\alpha^2 \text{ف}}{\text{ع}^8} = \text{ل}$$

وبالتعويض عن  $\alpha$  بالمقدار  $\text{ه}_1 - \text{ه}_2$

(١٦٩) .....

$$\frac{(\text{ه}_2 - \text{ه}_1)^2 \text{ف}}{\text{ع}^8} = \text{ل}$$

(١٧٠) .....

$$\frac{\text{ع}^8 \text{ل}}{\text{ه}_2 - \text{ه}_1} = \text{ف}^2$$

ملحوظة : ل ، ف ، ع بالأمتار أى أن التعويض عن  $\text{ه}_1$  ،  $\text{ه}_2$  يكون بالنسبة المئوية أى  $\frac{3}{100}$  مثلاً وليس ٣ فقط .

الحالة الثانية : إذا كانت  $\text{ع}_1$  لا تساوى  $\text{ع}_2$  :  
كما في حالة مسافة الإيقاف أو عدم التجاوز :

من شكل (٢٢١) :

$$\text{ع}_1 = \text{ف}_1^2 \text{ل} ، \text{ع}_2 = \text{ف}_2^2 \text{ل} \quad (١) \dots\dots$$

$$\text{ص} = \text{ل} \left( \frac{1}{2} \text{ل} \right)^2 \quad (٢) \dots\dots$$

وبقسمة (١) ، (٢) :

$$\frac{\text{ع}_2}{\text{ص}} = \frac{\text{ف}_2^2 \text{ل}}{\text{ل}} ، \frac{\text{ع}_1}{\text{ص}} = \frac{\text{ف}_1^2 \text{ل}}{\text{ل}}$$

$$\frac{(\text{ه}_2 - \text{ه}_1)}{8} = \text{معلومية ص}$$



فإن :

$$\frac{٨ ع١}{(٢ هـ - ١ هـ) ل} = \frac{٤ ف٢}{٢ ل}$$

ومنها :

$$\sqrt{\frac{٢ ع١}{٢ هـ - ١ هـ}} = ف١$$

$$\text{وبالمثل } \sqrt{\frac{٢ ع٢}{٢ هـ - ١ هـ}} = ف٢$$

وبالجمع  $ف = ف١ + ف٢$

$$ف = ١,٤١٤ ( \sqrt{٢ ع١} + \sqrt{٢ ع٢} ) \sqrt{\frac{ل}{٢ هـ - ١ هـ}}$$

..... (١٧١)

أو :

..... (١٧٢)

$$ل = \frac{ف٢ (٢ هـ - ١ هـ)}{٢ ( \sqrt{٢ ع١} + \sqrt{٢ ع٢} )}$$

إذا وضعنا  $ع١ = ع٢$  فإن المعادلتين (١٧١) ، (١٧٢) تؤولان إلى المعادلتين (١٦٩) ، (١٧٠) وإذا عوضنا عن  $ع١$  ،  $ع٢$  بالقيم الخاصة بها حسب المواصفات فإننا نحصل على المعادلات التي تستعمل في هذه الحالات .

ثانياً — المنحنى الرأسى أقصر من مسافة الرؤية :

وهذا معناه أن ( ل ) أقصر من ( ف ) أى أن العربة والهدف المقابل يكونان على المماسين وليسا على المنحنى كما في الحالة الأولى .



في شكل ( ٢٢٢ ) :

تغير الميل على المنحنى من ح إلى و نقطة إبتداء المنحنى = ٢ ا ك  
وهذا عبارة عن الفرق بين الميل من ب' إلى و ، والميل من ب" إلى و وبذا  
ب' ب " = ٢ ا ك ي .

$$ع = ٢ ا ك + ٢ ا ك ي .$$

$$وبالمثل ع' = ٢ ا و + ٢ ا و س .$$

$$س = \frac{١}{٢} - \frac{٢ ع'}{٢ ا و} .$$

$$ي = \frac{١}{٢} - \frac{١ ع}{٢ ا ك} .$$

$$ف = ي + و + ع + س .$$

$$= \frac{١}{٢} - \frac{٢ ع'}{٢ ا و} + و + ع + \frac{١}{٢} - \frac{١ ع}{٢ ا ك} =$$

$$..... (١) = \frac{٢ ع'}{(ك - ل) ا و} + \frac{١}{٢} + \frac{١ ع}{٢ ا ك} =$$

وبالتفاضل والمساواة بالصفر للحصول على أقل قيمة :

$$\frac{٢ ع'}{(ك - ل) ا و} + \frac{١ ع}{٢ ا ك} = صفر$$

$$ك = \frac{ل}{٢}$$

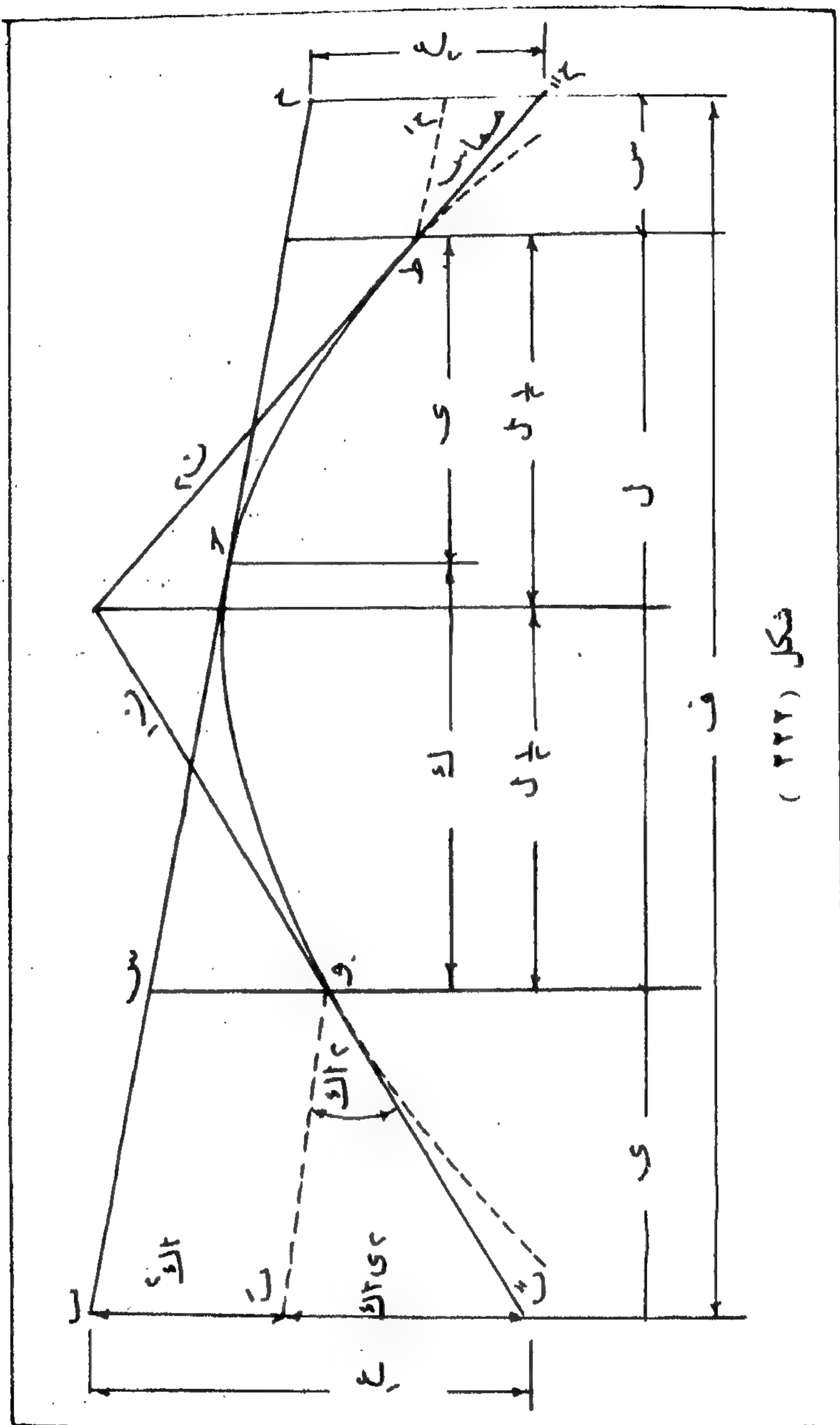
$$\frac{٢ ع'}{١ ع} + ١$$

$$ل - ك = ك = \frac{١ ع'}{١ ع}$$

$$١ ع$$

$$\frac{٢ هـ - ١ هـ}{٢} = ١ \text{ المعلوم أن } ١$$







وبالتعويض عنها في المعادلة (١) :

$$ف = \frac{ع(1 + \sqrt{\frac{2ع}{1ع}})}{1ع - 2ع} + \frac{1}{2} + \frac{1ع}{1ع - 2ع}$$

وبالاختصار نحصل على :

(١٧٣) .....

$$ف = \frac{1}{2} + \frac{2ع + 1ع + \sqrt{2ع1ع}}{1ع - 2ع}$$

(١٧٤) .....

$$ف = \frac{1}{2} + \frac{2(\sqrt{2ع} + \sqrt{1ع})}{1ع - 2ع}$$

فإذا كانت  $ع_1 = ع_2$  كما في حالة مسافة التجاوز :

(١٧٥) .....

$$ف = \frac{1}{2} + \frac{ع^2}{1ع - 2ع}$$

أو :

(١٧٦) .....

$$1 = \frac{2(1ع - 2ع)ف - 8ع}{1ع - 2ع}$$



والآن لأختار أى المعادلات تستعمل . معادلات ل أكبر من ف أم معادلات ف أكبر من ل ، نحل المعامل الآتى :

$$\frac{1^2 - 2^2}{8} \text{ ، ف أو } \frac{1^2 - 2^2}{8} \text{ ، ل أى قيمة ص هـ .}$$

واختيار أحد المعاملين يتوقف على أيهما المعلوم ف أم ل . فإذا كان المعامل الأول المعلوم فيه ف أكبر من ع فمعناه أن ص هـ أكبر من ع أى أن العربة على المنحنى أو بمعنى آخر ل أكبر من ف أما إذا كان العكس فمعناه أن العربة على المماس وبذلك تكون ف أكبر من ل . وبالمثل لو كان المعامل الثانى الذى فيه ل أكبر من ع أو أصغر منه فينطبق عليه ما سبق تماماً .

مثال : منحنى انحداره + ٤٪ ويتبعه انحدار - ٢٪ ، ع = ١,٥ متراً ، ف = ١٥٠ متراً . أوجد طول المنحنى .

الحل :

$$\frac{(1^2 - 2^2)}{8} \text{ ف} = \frac{1}{100} \times \frac{150}{8} \times 6 = 1,13 \text{ متراً}$$

ضربنا فى  $\frac{1}{100}$  لأننا كما ذكرنا وضعنا هـ ، هـ بالنسب المئوية لأن ف بالأمطار وليست بمئات الأمطار .

والقيمة ١,١٣ متر أقل من ع وبذا فإن ف أكبر من ل ومن ثم نستعمل المعادلة ( ١٧٦ ) .

$$1,50 \times 8 - 150 \times [ (2 - ) - 4 ] \frac{1}{100} = \frac{1}{100} \times 6 = ل$$



## ثانياً — المنحنيات الرأسية المقعرة :

تكلمنا فيما سبق على المنحنيات المحدبة من ناحية مسافة الرؤية فيها وسنبين فيما يلي مسافة الرؤية على المنحنيات المقعرة .

إن المنحنيات الرأسية المقعرة يحكمها عدة عوامل :

- (١) مسافة الرؤية للنور الأمامي ( Headlight Sight Distance ) .
- (٢) راحة الراكب .
- (٣) عوامل صرف المياه .
- (٤) المنظر العام للطريق .

١ — مسافة الرؤية للنور الأمامي ( مسافة شعاع الكشاف الأمامي ) :  
أولاً — ف أصغر من ل :

في المواصفات يعتبر ارتفاع كشاف الضوء الأمامي يساوي ٢,٥ قدماً فوق متوسط سطح الطريق وأن شعاع الضوء يميل بزاوية قدرها درجة واحدة مع الأفقى إلى أعلى .

في شكل ( ٢٢٣ ) مماسات المنحنى ا ب هي ا ح ، ح ب .  
نعتبر ا ح د كمحور أسناد أفقى .

ف = مسافة الرؤية من ا إلى تقاطع الشعاع من سطح الطريق عند ب

$$ب د ( قدم ) = ( ١ هـ - ٢ هـ ) \times \frac{١}{٢} ل$$

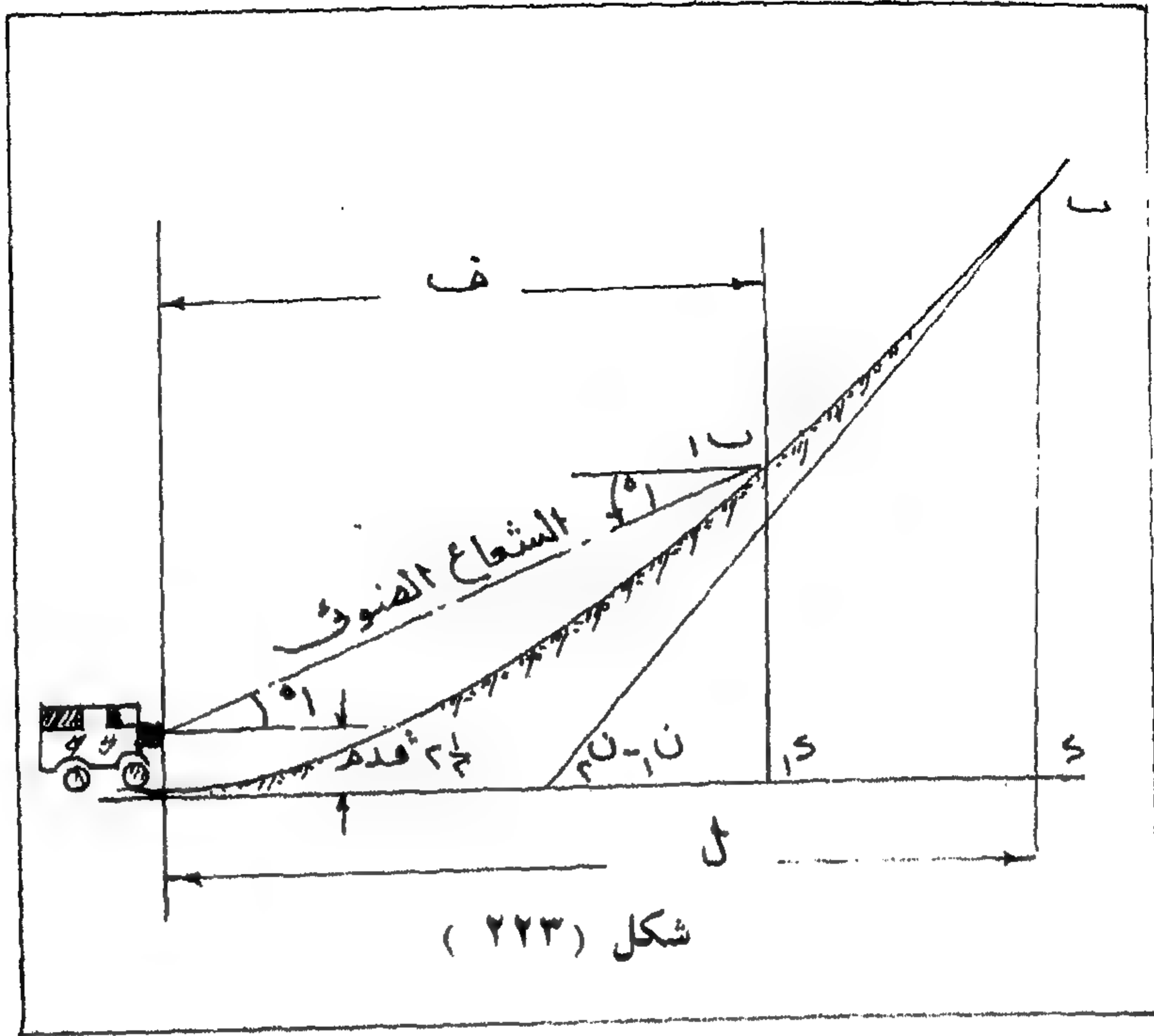
$$ب د ( قدم ) = ( ١ هـ - ٢ هـ ) \times \frac{١}{٢} ل = \frac{( ١ هـ - ٢ هـ )^2}{٢} \left( \frac{ف}{ل} \right)$$

$$ب د ( قدم ) = \frac{( ١ هـ - ٢ هـ )^2}{٢} \left( \frac{ف}{ل} \right) \dots (١)$$

وحيث أن ظا ٥١ = ٠,٠١٧٥

$$ب د ( قدم ) = ٢,٥ + ٠,٠١٧٥ ف \dots (٢)$$





وبمساواة (١) ، (٢) ينتج أن :

(١٧٧) .....

$$ل = \frac{ف^2 (٢هـ - ١هـ)}{٠,٣٥ + ٥,٠ ف}$$

حيث ل ، ف بالأقدام ( ونعوض عن هـ<sub>١</sub> ، هـ<sub>٢</sub> بالنسبة المئوية كما سبق ) .

ثانياً - ف أكبر من ل :

شكل ( ٢٢٤ ) :

$$١هـ - ٢هـ = (ف - \frac{ل}{٢}) (٢هـ - ١هـ)$$

$$= ٢,٥ + ٠,١٧٥ ف$$







## مسافة الرؤية في المنحنيات المقعرة المارة تحت المنشآت

( Sight Distance at Underpasses )

المطلوب إيجاد الحد الأدنى لطول منحنى رأسى يمر تحت منشأ ويحقق مسافة رؤية معينة . ونفرض نقطة تقاطع المماسين تحت حافة المنشأ التى تحدد الرؤية إلى الأمام ، وأن الرموز كما سبق .

م = الارتفاع الرأسى الصافى من الحافة السفلى للمنشأ إلى سطح الطريق .

١ع = ارتفاع عين السائق فوق الطريق .

٢ع = ارتفاع السائق أو العقبة .

الحالة الأولى : ف أكبر من ل :

في شكل ( ٢٢٥ ) من تشابه المثلثات :

$$\frac{و}{هـ} + \frac{١}{٢} = \frac{و + هـ}{هـ} = \frac{ف}{ل}$$

$$ف = \frac{و}{هـ} + \frac{١}{٢}$$

ومنها :

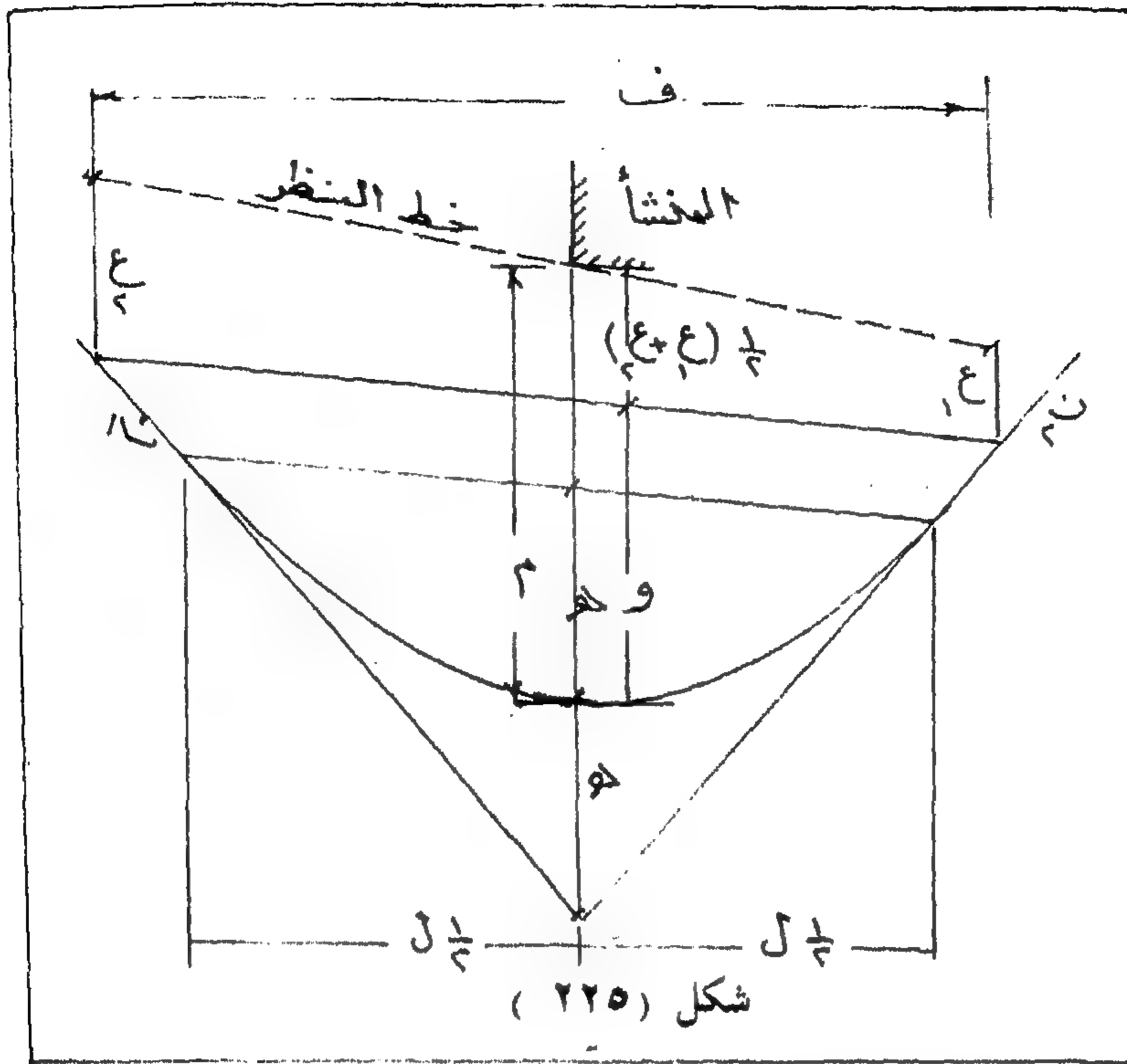
..... (١٨٠)

$$ف = \frac{و}{هـ - ١هـ} + \frac{١}{٢}$$

$$حيث و = م - \frac{١}{٢} (٢ع + ١ع)$$

ولتطبيق هذا :





أولاً - في مسافة الايقاف :

تؤخذ م = ١٤ قدماً ( ٤,٢٥ متراً ) ،

$ع_١ = ٦$  قدماً ( ١,٨٥ متراً ) ،

$ع_٢ = ١,٥$  قدماً ( أى ٠,٤٥ متراً ) وذلك حسب مواصفات مصلحة الطرق الأمريكية .

وحسب مواصفات الناحية العملية للطرق م = ١٤,٥ قدماً .

$ع_١ = ٤,٥$  قدماً ،

$ع_٢ = ٠,٥$  قدماً وبالتعويض بهذه القيم في ( و ) ينتج :

مواصفات الطرق الأمريكية

..... (١٨١)

$$ف = \frac{٤١}{٢٥ - ١٥} + \frac{١}{٢}$$



مواصفات الخبرة العملية للطرق

(١٨٢) ....

$$\frac{48}{\frac{1}{2} - \frac{1}{2}} + \frac{1}{2} = \text{ف}$$

حيث ف ، ل بالأقدام .

ويمكن إستنتاج المعادلة إذا كانت المسافات بالأمتار .

مثال : إذا كانت  $\frac{1}{2} = 5\%$  ،  $\frac{1}{2} = 3\%$  ، ف  $800 =$  قدم . فما طول المنحنى الرأسى المطلوب .

الحل :

$$\text{من المعادلة (١٨٢) لدينا } 2 = \text{ف} - \frac{96(100)}{(3+5)}$$

$$= 1200 - 2 \times 800 = 400 \text{ قدم}$$

ثانياً — مسافة التجاوز :

$$م = 14,5 \text{ قدم}$$

$$١٤ = ٢٤ = ٤,٥ \text{ قدم}$$

(١٨٣) ....

$$\frac{40}{\frac{1}{2} - \frac{1}{2}} + \frac{1}{2} = \text{ف}$$

مثال — أوجد طول المنحنى الرأسى حسب البيانات السابقة فى مثال (١) ما عدا أن ف  $= 600$  قدم .

الحل :

$$ل = 2 \times 600 - \frac{8000}{8} = 200 \text{ قدم}$$



## الحالة الثانية - ف أصغر من ل :

حيث أن أى قطع مكافئ مفلطح عبارة عن دائرة تقريباً ، فإننا نفرض أن  
 $س = \text{نصف القطر المتوسط للمنحنى الرأسى} .$

فى شكل ( ٢٢٦ )

ى ، ى<sub>١</sub> هى الزوايا المركزية المحصورة بواسطة ل ، ف على الترتيب .  
 ( نفرض أنها زوايا صغيرة وبالتقدير الدائرى ) .

$$(١) \dots\dots\dots ه \text{ للقطع المكافئ} = \frac{ل (ه_٢ - ه_١)}{٨}$$

$$(٢) \dots\dots\dots ه \text{ للدائرة المقابلة} = س \text{ ظا } ى \text{ ظا } ى_١ = \frac{س ى_٢}{٨} \text{ تقريباً}$$

بمساواة (١) ، (٢) .

$$(٣) \dots\dots\dots ى_٢ = \frac{ل (ه_٢ - ه_١)}{س}$$

نفرض أن ( و ) للقطع المكافئ = ( و ) للدائرة .

$$و = س ( ١ - جتا \frac{١}{٢} )$$

$$(٤) \dots\dots\dots = س جا \frac{١}{٢} ى_١ \text{ ظا } ى_١ = \frac{س ى_٢}{٨}$$

من (٣) ، (٤) :

$$(٥) \dots\dots\dots \frac{ل (ه_٢ - ه_١)}{٨ و} = ٢ ( \frac{ى_٢}{ى_١} )$$

ف = س ى<sub>١</sub> تقريباً

والآن ل = س ى

$$\text{وبذا فإن } \frac{ل}{ف} = \frac{ى_٢}{ى_١}$$

$$(٦) \dots\dots\dots \frac{ل^٢}{ف^٢} = ٢ ( \frac{ى_٢}{ى_١} )$$







(١٨٦) .....

$$J = \frac{F^2 (h_2 - h_1)}{96}$$

ثانياً - في مسافة التجاوز :

حسب المواصفات .

(١٨٧) .....

$$J = \frac{F^2 (h_2 - h_1)}{80}$$

في المواضع التي لا يكون فيها المنشأ فوق رأس المنحنى تماماً كما هو مفروض في الحالات السابقة فإن المعادلتين الخاصتين بالمسافات السابق ذكرها تظل صحيحة إذا كان رأس المنحنى لا يبعد عن المنشأ بأكثر من ٢٠٠ قدم ، أما إذا زادت عن ذلك فإن المعادلتين ( ١٨١ ، ١٨٢ ) تكونان خطأ أما المعادلة ( ١٨٤ ) فيمكن اعتبار نتائجها كافية .

ثالثاً - مسافة الرؤية في المنحنيات الأفقية :

عند تخطيط المنحنيات الأفقية علينا أن نأخذ في الاعتبار وجود مسافة رؤية كافية لا تقل عن ٦٠٠ قدم ولا تعترضها عقبات ، وإن كانت تتغير تبعاً لنوع الطريق .

الحالة الأولى : مسافة الرؤية أقل من طول المنحنى :

في شكل (٢٢٧) نفرض أن عين السائق تكون عند ( و ) على محور الطريق الداخلي ( الخط الداخلي وليس على محور الطريق نفسه ) .

الوتر أ و = ف = مسافة الرؤية .

في المثلثين أ ب ح ، ا م ه .



$$\frac{\frac{1}{2} \text{ ا ب}}{\frac{1}{2} \text{ س}} = \frac{\text{ع}}{\text{ا ب}}$$

وعادة ا ب صغير بالنسبة إلى س وبذا فيمكن اعتبار أن :

$$\frac{1}{2} \text{ ا ب} = \frac{1}{2} \text{ القوس ا ب} = \frac{1}{2} \text{ ف تقريباً .}$$

$$\text{وبالتعويض في المعادلة السابقة : ع} = \frac{\text{ف}^2}{\text{ا ب}^2}$$

$$\text{ع} = \text{مسافة العقبة عن محور الخط الداخلي} = \frac{(\text{مسافة الرؤية ف})^2}{\text{ا ب}^2}$$

(١٨٨) .....

وبدقة أكبر : من المثلث ا ب س .

$$\text{جتا د} = \frac{\text{س} - \text{ع}}{\text{س}}$$

(١٨٩) .....

$$\text{ع} = \text{س} (١ - \text{جتا د})$$

$$\text{د بالدرجات ، ع ، س بالأقدام} = ٢١٨,٠٠٠٠٠ \text{ ف}^2 \text{ د}$$

$$\text{د بالدرجات ، ع ، س بالأمتار} = ١١,٠٠٠٠٠ \text{ ف}^2 \text{ د}$$

(١٩٠) .....

مثال (١) — في طريق زراعى ، يبعد محور الخط الداخلى عن عقبة مقدار ٣٠ قدماً ، ويراد وجود مسافة رؤية قدرها ٦٠٠ قدم على الأقل عند المرور في منحنى أفقى . ما هو الحد الأدنى لنصف قطر المنحنى .



الحل :

$$س = \frac{(600)^2}{30 \times 8} = 1500 \text{ قدم}$$

مثال (٢) — درجة المنحنى = ٥٤ ، ف = ١٠٠٠ قدم . المطلوب أقل مدى لبعد العقبة .

الحل :

$$ع = \frac{1000 \times 1000}{1432 \times 8} = 87 \text{ قدماً} \quad \text{لأن } س = \frac{5730}{4}$$

$$1432 = \text{قدم}$$

وإذا استعملنا المعادلة ( ١٨٩ ) :

$$ع = 1432 ( ١ - جتا ٥٢٩ ) = 86 \text{ قدماً}$$

الزاوية و = ٥٢٠ لأن و تقابل ١٠٠ قدم ،  $\frac{1}{2}$  ف = ٥٠٠ قدم

$$و = \frac{500}{100} \times ٥٤$$

الحالة الثانية : مسافة الرؤية أكبر من طول المنحنى :

تعتبر هنا المسافات على القوس الدائرى . طول مسافة الرؤية على الاتجاه الدائرى أكبر من طول المنحنى بمقدار ( ط ) من كل من طرفى المنحنى من نقطتى التماس . فى شكل ( ٢٢٨ ) .

$$ف = ل + ط$$

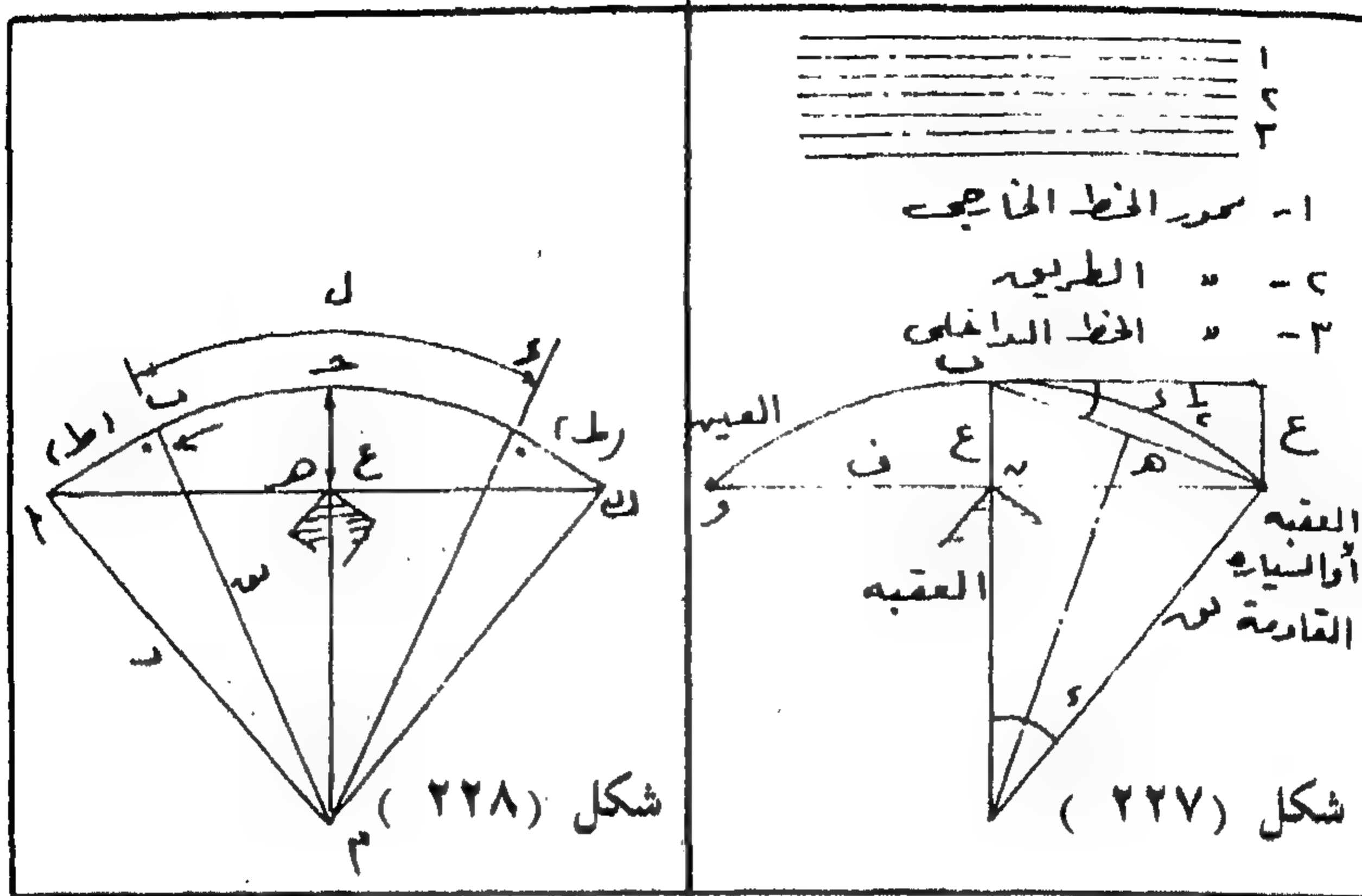
$$ط = \frac{1}{2} ( ف - ل )$$

$$٢( اح ) = ٢( اه ) + ٢ع$$

$$٢( اه ) = ٢( ام ) - ٢( ع - س ) ..... (٢)$$

$$٢( ام ) = ٢( اب ) + ٢س ..... (٣)$$





ا ب = ط =  $\frac{1}{2} (ف - ل)$  فى (٣) ثم التعويض فى المعادلة (٢)

$$(ا هـ) = \frac{1}{4} (ف - ل) + ٢ - ٢(ع - و) \dots (٤)$$

وبتعويض (٤) فى (١) :  $(ا ح) = \frac{1}{4} (ف - ل) + ٢ - ٢ ع \dots (٥)$

بوضع  $ا ح = \frac{1}{2} ف$  فى (٥)

(١٩١) .....

$$\frac{ل (٢ ف - ل)}{٨} = ع$$

أو :

(١٩٢) .....

$$ف = \frac{١}{٢} ل + \frac{٤ - ع}{٢}$$



## مسائل

١ — إذا كان لدينا منحني يصل بين انحدارين الأول إلى أعلى قدره متران كل جنزير والثاني إلى أسفل قدره ٦ في المائة وكانت مسافة التجاوز قدرها ٩٠ متراً وكان ارتفاع عين السائق ١,٦٥ متراً . فأوجد ما يلي :

أولاً — طول المنحني .

ثانياً — مسافة الايقاف حتى لا يصطدم السائق بكتلة حجرية ارتفاعها

١٥ سم .

ثالثاً — أعلى نقطة في المنحني إذا كان منسوب منتصف الأنحدار الثاني متر

واحد .

رابعاً — أحسب المناسب على المنحني كل ٢٠ متر .

٢ — إذا كان لدينا منحني يصل بين انحدارين الأول إلى أعلى قدره ١٨ في الألف والثاني إلى أسفل قدره ٧ في المائة وكانت مسافة التجاوز ١١٠ متراً وكان ارتفاع عين السائق ١,٤٠ متراً فأوجد ما يلي :

أولاً — طول المنحني .

ثانياً — مسافة الايقاف حتى لا يصطدم السائق بعقبة قدرها ١٢ سم .

ثالثاً — ما منسوب أعلى نقطة في الطريق إذا كان منسوب نقطة تقاطع الأنحدارين هو ٤ متر تحت سطح البحر .

رابعاً — مناسب النقط على المنحني كل ١٠ متر .

٣ — منحني يصل بين انحدارين + ٤٪ ، - ٢,٤٪ وطول المنحني ٣٦٠ متر وارتفاع عين السائق ١,٧٠ متر فأوجد :

أولاً — مسافة التجاوز .

ثانياً — مسافة الايقاف حتى لا يصطدم السائق بعقبة ارتفاعها ١٥ سم على الطريق .

ثالثاً — منسوب أعلى نقطة في الطريق .



رابعاً — مناسب النقط على المنحنى كل ٢٥ متر علماً بأن منسوب نقطة على المماس تبعد ٨٠ متراً من أوله قدرها ٦,٠٠ متر .

٤ — نفس مسألة ٣ ولكن طول المنحنى قدره ٢٠٠ متر مع نفس المطلوبات والبيانات .

٥ — منحنى يصل بين أنحداره قدره ١,٤٪ إلى أسفل ، ٣,٦٪ إلى أعلى فإذا كانت مسافة رؤية النور للكشاف الأمامى المطلوبة ٢٠٠ قدم فما طول المنحنى المطلوب .

٦ — منحنى يصل بين أنحداره قدره ٦٪ إلى أسفل ، ٨,٦٪ إلى أعلى فإذا كانت مسافة رؤية النور للكشاف الأمامى ١٨٠ قدم فما طول المنحنى المطلوب .

٧ — إذا كان طول المنحنى ٢٨٠ قدم ويصل بين أنحدارين — ٢,٠٪ ، + ٤,٥٪ فما مسافة الرؤية لنور الكشاف الأمامى . هل تتغير هذه المسافة . أولاً — إذا تغير الأنحدار الثانى إلى + ١,٤٪ . ثانياً — إذا تغير الأنحدار الأول إلى - ٨,٠٠٪ . ثالثاً — إذا تغير الأنحدار الأول إلى - ١,٥٪ والثانى إلى + ٢,٤٪ .

٨ — أستنبط معادلتين جديدتين لمعادلات مسافة الرؤية لنور الكشاف الأمامى وتطبق المسافات بالأمتار .

٩ — ما طول المنحنى المناسب لراحة الراكب ويصل بين أنحدارين - ٤,٤٪ ، + ١١,٠٪ إذا كانت سرعة العربة التى بها الراكب ٧٨ ميل فى الساعة .

ثم أستنبط معادلة لتطبق للأطوال بالأمتار والسرعات بالكيلو متر فى الساعة .

١٠ — أستنتج المعادلة العامة لطول مسافتى الرؤية والتجاوز للأيقاف فى المنحنيات المقعرة المارة تحت المنشآت ثم منها استنتج معادلات مواصفات الطرق الأمريكية ومواصفات الناحية العملية للطرق . أولاً — باستعمال



المواصفات بالأقدام . ثانياً — باستعمال المواصفات بالأمتار وذلك في الحالات التالية :

(١) طول ف أكبر من ل .

(٢) طول ف أصغر من ل .

١١ — أوجد طول المنحنى المناسب تحت منشأ بانحدار - ٦٪ ، + ٩٪ .

أولاً — إذا كانت مسافة الأيقاف ٤٠٠ قدم .

ثانياً — إذا كانت مسافة التجاوز ٥٠٠ قدم . وذلك بإحدى طرق المواصفات .

ثالثاً — طول المنحنى بالأمتار إذا كانت مسافة الأيقاف ١٠٠ متر .

رابعاً — طول المنحنى بالأمتار إذا كانت مسافة التجاوز ١٤٠ متر .

١٢ — في طريق زراعى يبعد محور الخط الداخلى عن عقبة بمقدار ٤٠ قدم ويراد وجود مسافة رؤية قدرها ٥٠٠ قدم على الأقل عند المرور في منحنى أفقى وما هو الحد الأدنى لنصف قطر المنحنى .

١٣ — إذا كانت درجة المنحنى = ٥٦ ، ومسافة الرؤية في منحنى أفقى = ٨٠٠ قدم المطلوب أقل مدى لبعده العقبة .



القسم الخامس  
مساحة الأنفاق والمناجم

**TUNNEL & MINE SURVEYING**







## الباب الثاني والعشرون

### مساحة الأنفاق والمناجم

( Tunnel & Mine Surveying )

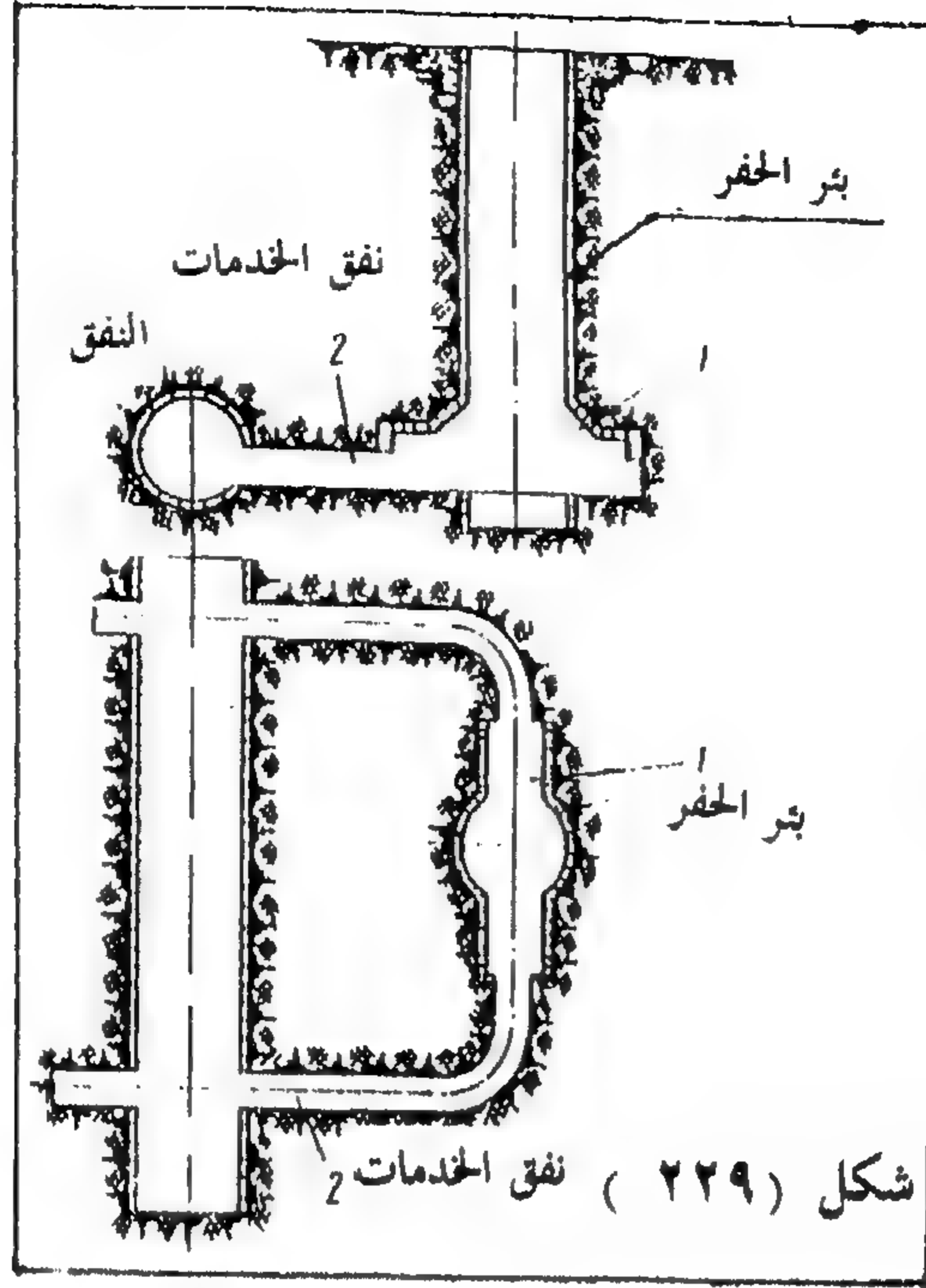
#### مقدمة :

ان انشاء الأنفاق داخل الأرض يتم إما بغرض استخدامها في المواصلات ، أو كأجزاء من |منجم للتعدين ، أو لمرور المياه في المحطات الكهرومائية . وعند إنشاء الأنفاق يبدأ الإنشاء عادة من عدة قطاعات في وقت واحد ثم يستمر العمل حتى يتم توصيل هذه القطاعات ببعضها طبقاً للتصميم المعد مسبقاً .

ويبدأ الإنشاء للأنفاق التي تتم بطريقة الحفر تحت أعماق كبيرة بعمل آبار رأسية بقطر يتراوح بين ٦ — ٨ متر وعمق يصل إلى منسوب قاع النفق لإنزال المواد والآلات الخاصة بالإنشاء ويطلق على هذه الآبار آبار الحفر وتبعد هذه الآبار عن بعضها بمسافة تتراوح بين ٢٥٠ إلى ١٣٠٠ متر تبعاً لطبيعة التربة وأبعاد النفق وظروف مكان الإنشاء .

ولتنسيق العمل ولعدم إزدحام ممر النفق بأدوات ومواد الإنشاء تنشأ هذه الآبار بعيدة عن محور النفق بمسافة تتراوح بين ٣٠ — ٤٠ متراً تبعاً لظروف طبيعة السطح العلوى لمكان الإنشاء وقد تصل في بعض الظروف إلى ٢٠٠ متر . ثم توصل هذه الأبيار بمحاور النفق بواسطة أنفاق ثانوية يطلق عليها أنفاق الخدمات . وشكل (٢٢٩) يبين قطاعاً رأسياً في أحد هذه الآبار وفي أحد أنفاق الخدمات المؤدى إلى النفق الرأسى . وفي نفس الشكل موضح قطاع أفقى للنفق الرئيسى ولأنفاق الخدمات ولأحد آبار الحفر .





## أنواع الأنفاق

يمكن تقسيم الأنفاق تبعاً لما يلي :

١ - مكان انشائها والغرض منها :

أولاً - أنفاق في الصخور :

سواء كانت للنقل مثل أنفاق المواصلات بجبال الألب بأوروبا ، أو لتجميع المياه مثل أنفاق السد العالي .

ثانياً - أنفاق تحت الممرات المائية :

وهذه تنشأ تحت الترع أو الأنهار أو البحيرات أو البحار مثل النفق المزمع إنشاؤه تحت بحر المانش بين كاليه بفرنسا ودوفر بالإنجلترا أو نفق الشهيد أحمد حمدي الذي تم إنشاؤه تحت قناة السويس ، والنفق الذي أنشئ باليابان ليصل بين أكبر جزيرتين بها .

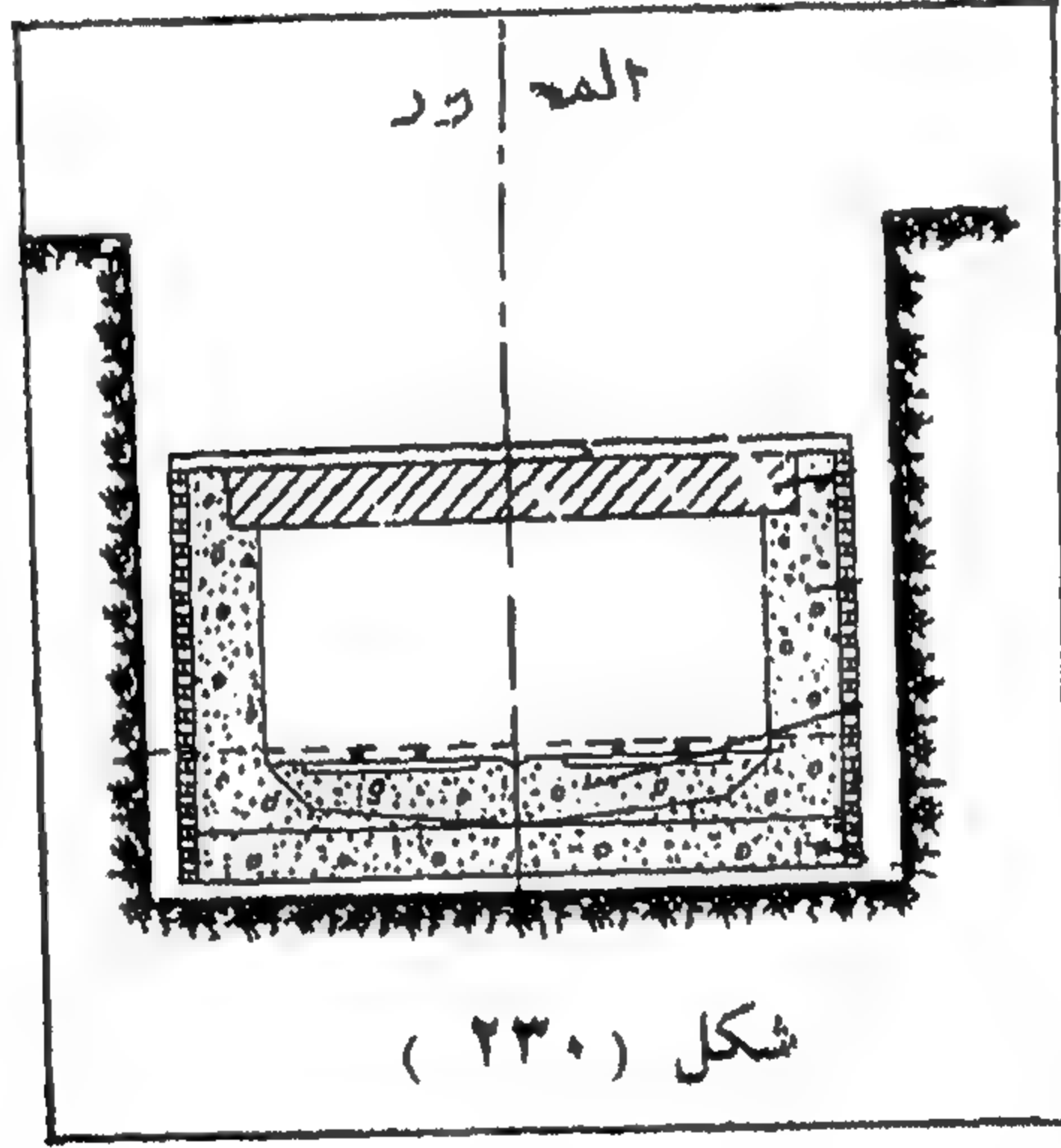


### ثالثاً — أنفاق المدن :

وهذه تنشأ تحت المناطق المأهولة بالمباني والطرق مثل نفق مترو القاهرة بين السيدة زينب وميدان رمسيس .

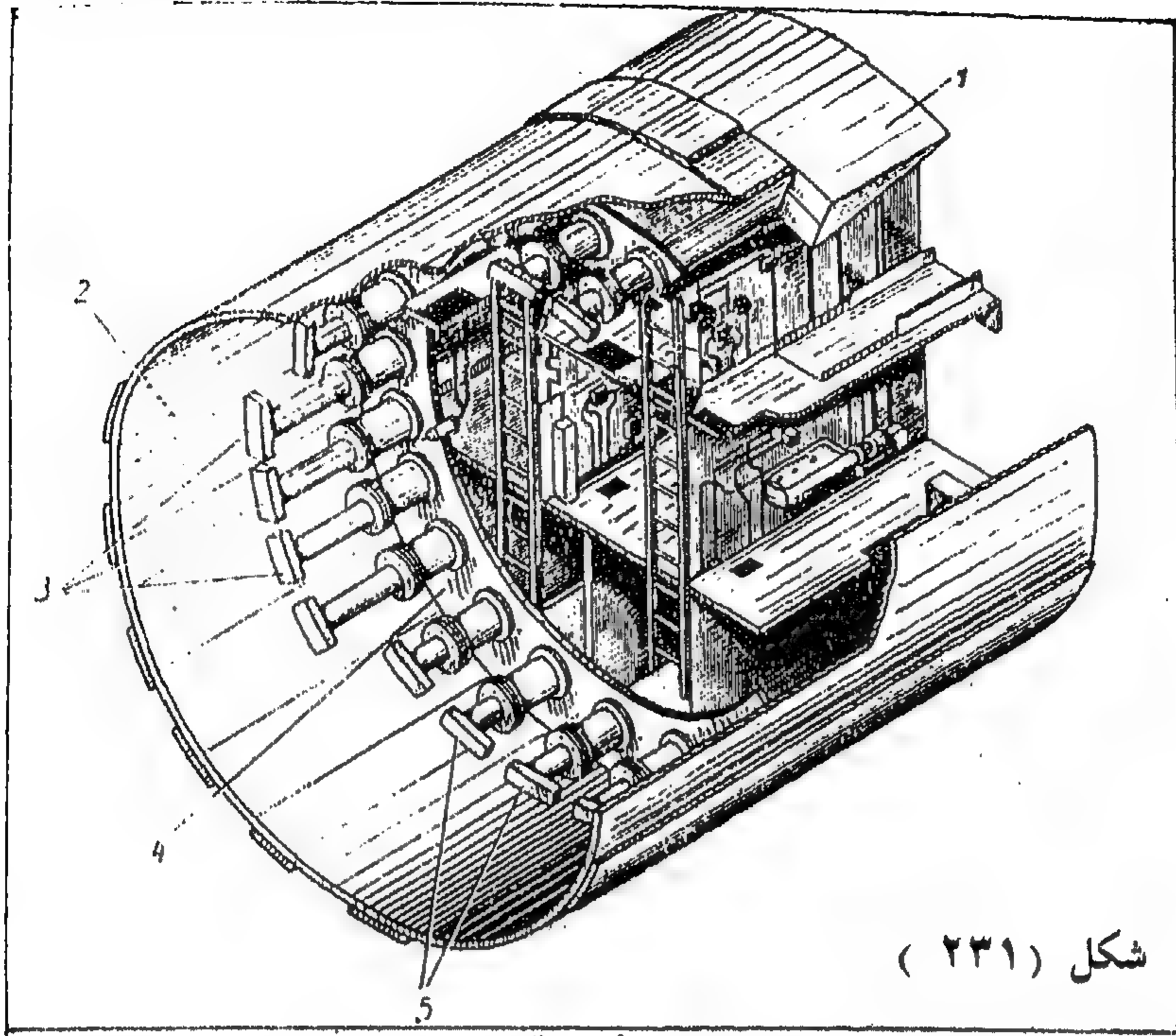
### ٢ — طريقة الانشاء :

النوع الأول — وهو الإنشاء بطريقة الحفر حتى المنسوب المطلوب ثم البناء ثم الردم ( Cut & Fill ) . وتستعمل هذه الطريقة عندما يكون مستوى الإنشاء قريب من منسوب الأرض الطبيعية ويخطط المحور بهذه الطريقة على الطبيعة بتثبيت وربط نقط مثلثات أو ترافرسات وعن طريقها يحدد المحور ، والإنشاء بهذه الطريقة يكون عادة تحت المساحات المفتوحة وتحت الشوارع الواسعة وشكل ( ٢٣٠ ) يبين مثال لقطاع الإنشاء لهذا النوع من الأنفاق . وهذا الأسلوب تم استخدامه في انشاء بعض أجزاء نفق مترو القاهرة .



النوع الثاني — وهو الإنشاء تحت الأعماق الكبيرة وطريقة التنفيذ تختلف تبعاً لنوع التربة المار خلالها النفق وحالياً تستخدم آلات خاصة بالحفر تعطى قطاع النفق المطلوب ، ومثال لذلك الآلة المبينة في شكل ( ٢٣١ ) للحفر في الأراضي الصخرية وهي تتركب أساساً شكل ( ٢٣١ ) من حرف قاطع ( ١ ) دائري الشكل متركب على إطار رئيسي ( ٤ ) متركب على هذا الإطار مكابس تخريم ( شواكيش هيدرولوكية ) ( ٣ ) وظيفتها عمل ثقوب على محيط دائرة





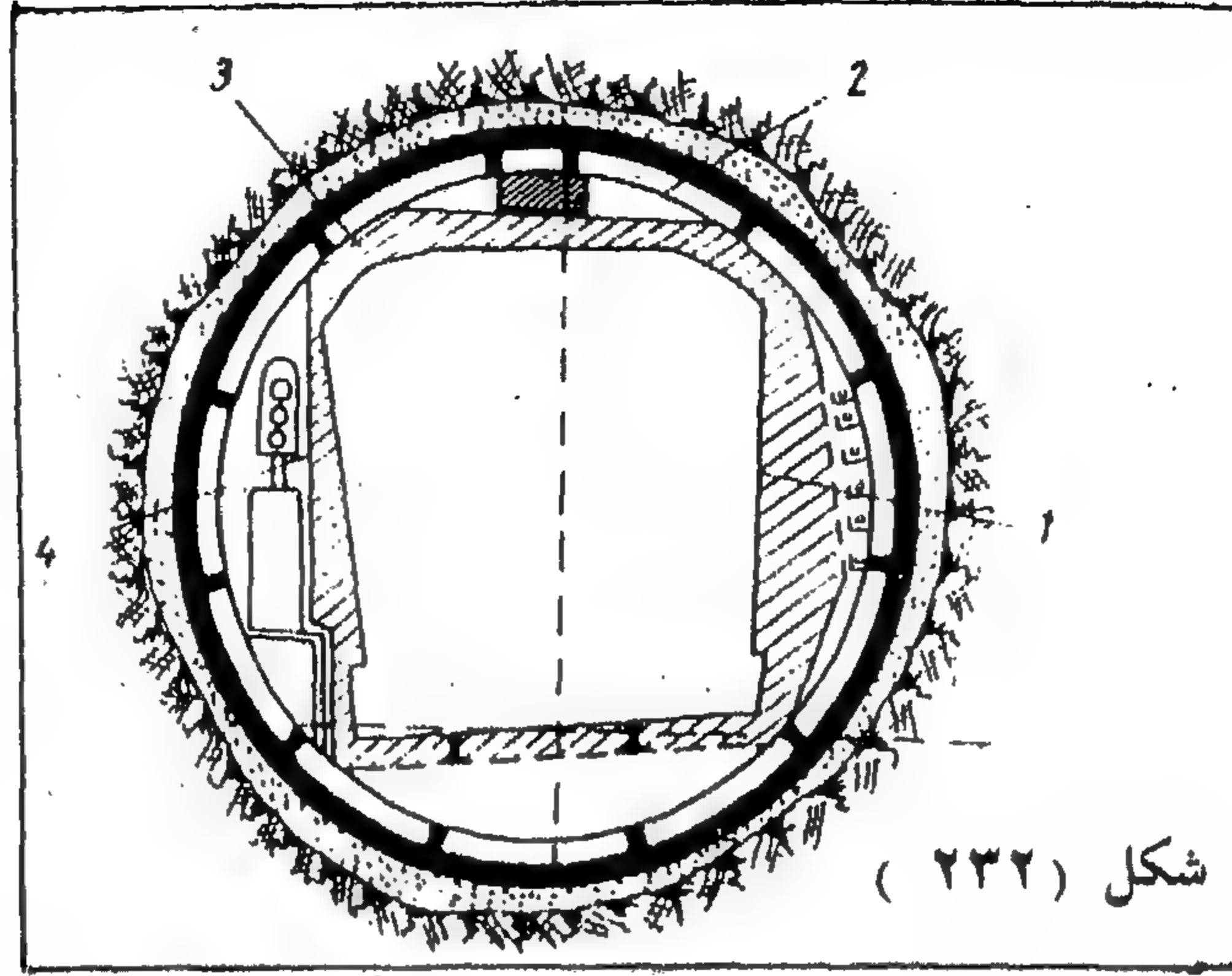
شكل ( ٢٣١ )

قطاع النفق المطلوب تملأ بالديناميت بعد سحب الآلة ثم تجرى عملية تفجير لتكسير الصخور التي تزال بعد ذلك ثم ترجع الآلة بعد ذلك إلى موقعها ويكرر العمل . ويمكن إستخدام نفس الآلة في حفر الطبقات غير الصخرية وذلك بعمل ثقب على المحيط وفي نفس الوقت بالحفر المباشر داخل جسم الآلة الأسطوانى (٢) . وقد استخدم مثل هذا الأسلوب في تنفيذ مشروع نفق الشهيد أحمد حمدي بالسويس .

والقطاع الناتج إما أن يطن تبطيناً خرسانياً خفيفاً لمنع تساقط الأتربة أثناء الحركة داخل النفق وذلك إذا كانت طبيعة التربة صخرية ، أو يطن تبطيناً خرسانياً مسلحاً لمنع الانهيارات أو لمنع تآكل جدران النفق ( في حالة الأنفاق المائية ) إذا كانت طبيعة التربة غير صخرية .

وعند إختيار قطر قطاع النفق تراعى الإنشاءات التي ستكون بداخله . وشكل (٢٣٢) يبين قطاعاً عرضياً في نفق مترو في أرض طينية حيث يطن الجدار بالخرسانة وإطار حديدى داخله المنشآت الخاصة به .





شكل ( ٢٣٢ )

### المعلومات المساحية التي تعطى على الخرائط التنفيذية

المعلومات الخاصة بتحديد محور النفق ومساره عادة تكون مرتبطة بعدة إعتبارات خاصة بالتصميم وتوضح هذه المعلومات على الخرائط المساحية التنفيذية وهي عادة تحتوي على :

#### أولاً — المعلومات الخاصة بالضبط الأفقى :

- ١ — إحداثيات نقطتى بداية محور النفق ونهايته والواقعتان فى مدخله ومخرجه .
- ٢ — إحداثيات نقط تقاطع محاور النفق مع أنفاق الخدمات وآبار الحفر .
- ٣ — إحداثيات نقط تقاطع محاور النفق المستقيمة مع المنحنيات .
- ٤ — انحرافات الأجزاء المستقيمة للمحور عن الشمال .
- ٥ — البيانات الخاصة لتوقيع المنحنيات .

#### ثانياً — المعلومات الخاصة بالضبط الرأسى :

تعطى هذه المعلومات عادة فى القطاع الرأسى للنفق وتبين عليه المناسيب والميول ، أما عند المنحنيات الرأسية ، وهى الموصلة بين المستويات المختلفة الميل فتعطى البيانات الخاصة واللازمة لتوقيع هذه المنحنيات .



وتبين أيضاً على الرسم أطوال أجزاء المحور وتعطى على صورة محطات ،  
والبعد بين كل محطة وأخرى يحدد ويكتب على اللوحة — فمثلاً لو اتفق على  
أن تكون المسافة بين كل محطتين ١٠٠ متر مثلاً ، تسمى نقطة بداية النفق  
المحطة ( ٠,٠٠ ) ثم تسمى المحطة التالية والتي تبعد عن المحطة الأولى بمسافة  
١٠٠ متر المحطة ( ١,٠٠ ) ثم بعد ١٠٠ متر أخرى تسمى المحطة ( ٢,٠٠ )  
وهكذا حتى نهاية المحور فلو فرض أن نقطة هـ بداية إحدى المنحنيات تقع على  
بعد ٣٢٥,١٣ متراً من بداية النفق فالتعبير عن موقع هذه النقطة يكون  
بتسميتها النقطة ( ٢٥,١٣ + ٣,٠٠ ) أى أن هذه النقطة تبعد عن المحطة  
( ٣,٠٠ ) بمسافة ٢٥,١٣ متراً . وتحدد المحطات على المحور بوضع نقط  
ثابتة .

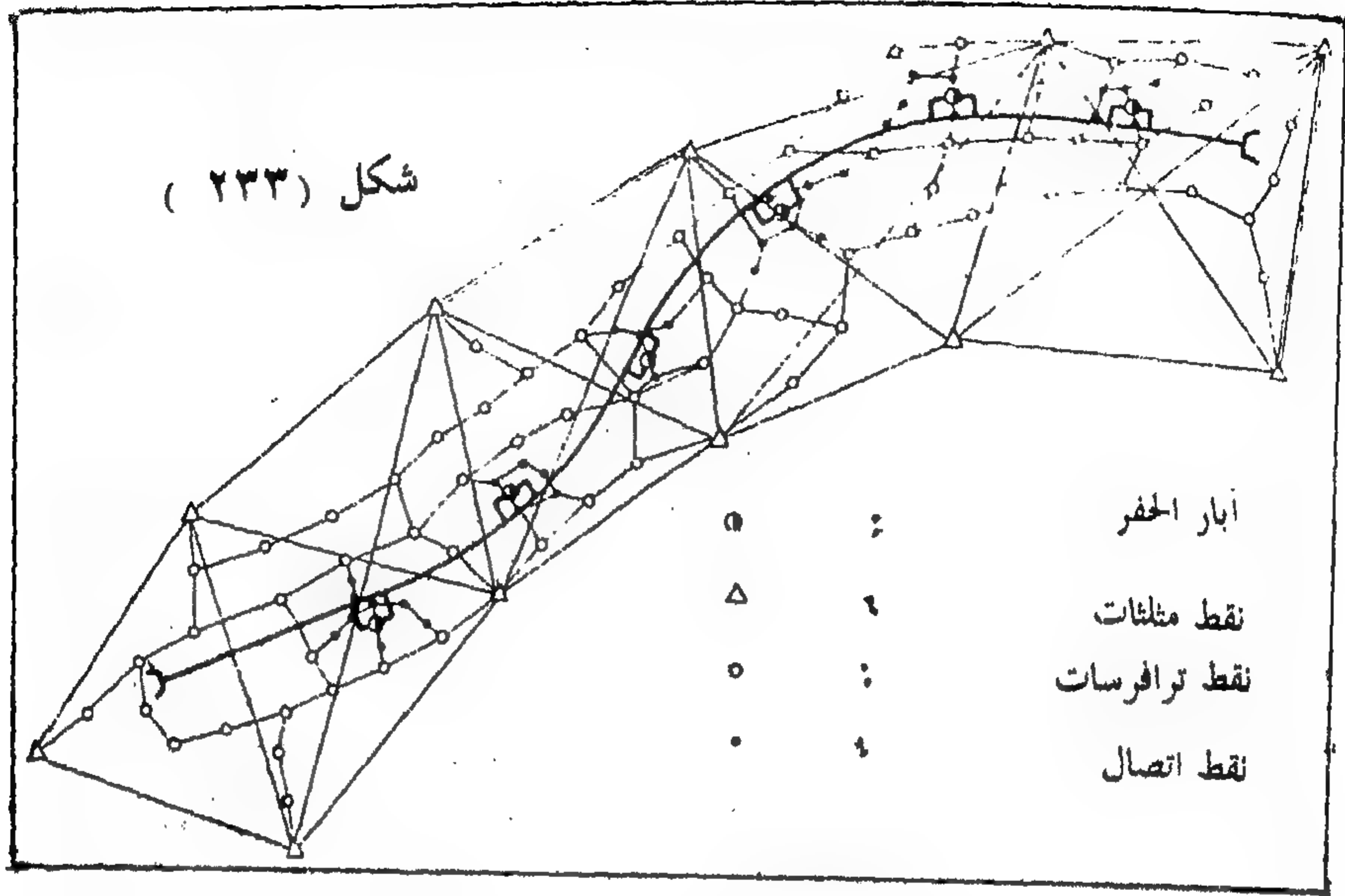
### توقيع نقط شبكة مساحة الأنفاق على السطح العلوى

يتم تحديد محاور النفق ومحاور المنشآت المرافقة له بربطها بالنقط الأساسية  
على السطح العلوى ( وهى عادة نقط مثلثات ) بواسطة الآبار الرأسية ،  
وبسبب التباعد بين نقط المثلثات وإكثار نقط الربط فتتأشبها شبكات ترافرسات  
تصل بين نقط المثلثات ، أما إذا أمكن وضع نقط مثلثات فى نقط قريبة من  
الآبار فيمكن بذلك توفير عمل الترافرسات ولو أنه لا بد من عمل شبكة  
ترافرسات عند مدخل ومخرج النفق فى بعض الأماكن التى توجد بها منشآت  
خاصة مرتبطة بالنفق . والشكل رقم (٢٣٣) يبين مسقط لشبكة مساحة  
كاملة لإنشاء أحد أنفاق المترو ووضح بها أماكن آبار الحفر ونقط المثلثات  
وشبكات الترافرسات الموصلة ومحور النفق .

أما من الناحية التنفيذية فإذا وجد أنه يصعب إنشاء شبكة مثلثات فيمكن  
الاستعاضة عنها بإنشاء شبكة ترافرسات خاصة إذا كان ذلك يظهر وفضراً من  
الناحية الاقتصادية .

وتحدد إحداثيات نقط الربط ( النقط الموصلة من أعلى إلى داخل النفق  
خلال الآبار الرأسية ) بواسطة ربطها بترافرسات ثانوية مقفلة أو مفتوحة حتى  
نقط الترافرسات ونقط المثلثات .





وبعد تحديد إحداثيات نقط الربط العلوى بالسفلى تكون قد تحددت إحداثيات نقط بداية الترافرس الذى يجب إنشاؤه داخل النفق لتحديد محور الانشاء له ولكل ما هو مطلوب من انشاءات داخله .

أما لتحديد انحرافات أضلاع ترافرس النفق نفسه فلا يعتمد إستنتاجها على انحرافات أضلاع الترافرس الثانوية الواصلة من نقط المثلثات أو من نقط الترافرسات الأساسية الموجودة على السطح العلوى بل يجب أن تستنتج مباشرة من نقط المثلثات وإذا لم يتمكن من ذلك فتستنتج على الأقل من انحرافات أضلاع الترافرس الأساسى .

وعملية ربط النقط الموجودة على السطح العلوى مع نقط ترافرس النفق تسمى عملية الربط العلوى بالسفلى ، وتتم هذه العملية بإسقاط نقطتين معلوم إحداثياتهما من أعلى إلى أسفل يربط بهما الترافرس السفلى الذى تكون أضلاعه ما بين ٥٠ — ١٠٠ متر . وسنشرح فيما بعد بالتفصيل هذه العملية .

أما بالنسبة للأنفاق الطويلة والتي تطول فيها المسافات بين الأبار وبعضها فترفع كفاءة النتائج والدقة بربط الترافرسات الأساسية بالترافرسات الفرعية أى تكون كترافرسات مقفلة وعادة تنشأ نقطة ترافرس أساسية بعد كل نقطتين أو ثلاث نقط فرعية .



## الضبط الأفقى والرأسى لتقابل طرق محور النفق

من أهم المشاكل التى تقابل مهندس التنفيذ لمسار النفق خاصة عند الحفر من جهتين مختلفتين هى عدم تقابل طرفى محور النفق فى النقطة التى من المفروض أن يتقابلا فيها والمحددة والمحسوبة فى التصميم .

فنفرض أنه بدىء فى إنشاء نفق عن طريق مسارين مختلفين يبدأ أحدهما من البحر الرأسية (A) والآخر من البحر الرأسية (B) . شكل (٢٣٤) والواقعتين على المحور التصميمى عند طرفيه ، وإستمر الإنشاء من كل من الطرفين فمن المفروض أن يتقابل المحوران فى النقطة المفروضة (O) . ولكن نظراً لوجود بعض الأخطاء فى القياس والتوقيع فينتج أن لا يتقابل المحوران . ففي المرحلة الأخيرة من الإنشاء قبل التقابل ونتيجة لهذه الأخطاء يكون مركز القطاع للنفق من جهة A هو (O<sub>A</sub>) ومن جهة B هو (O<sub>B</sub>) ويطلق على المتجه الواصل بين هاتين النقطتين بخطأ التقابل ومقداره (q) . هذا المتجه الفراغى يمكن تحليله إلى ثلاثة مقادير ( شكل ٢٣٤ ) :

$q_t$  = مركبة خطأ التقابل فى إتجاه المحور التصميمى .

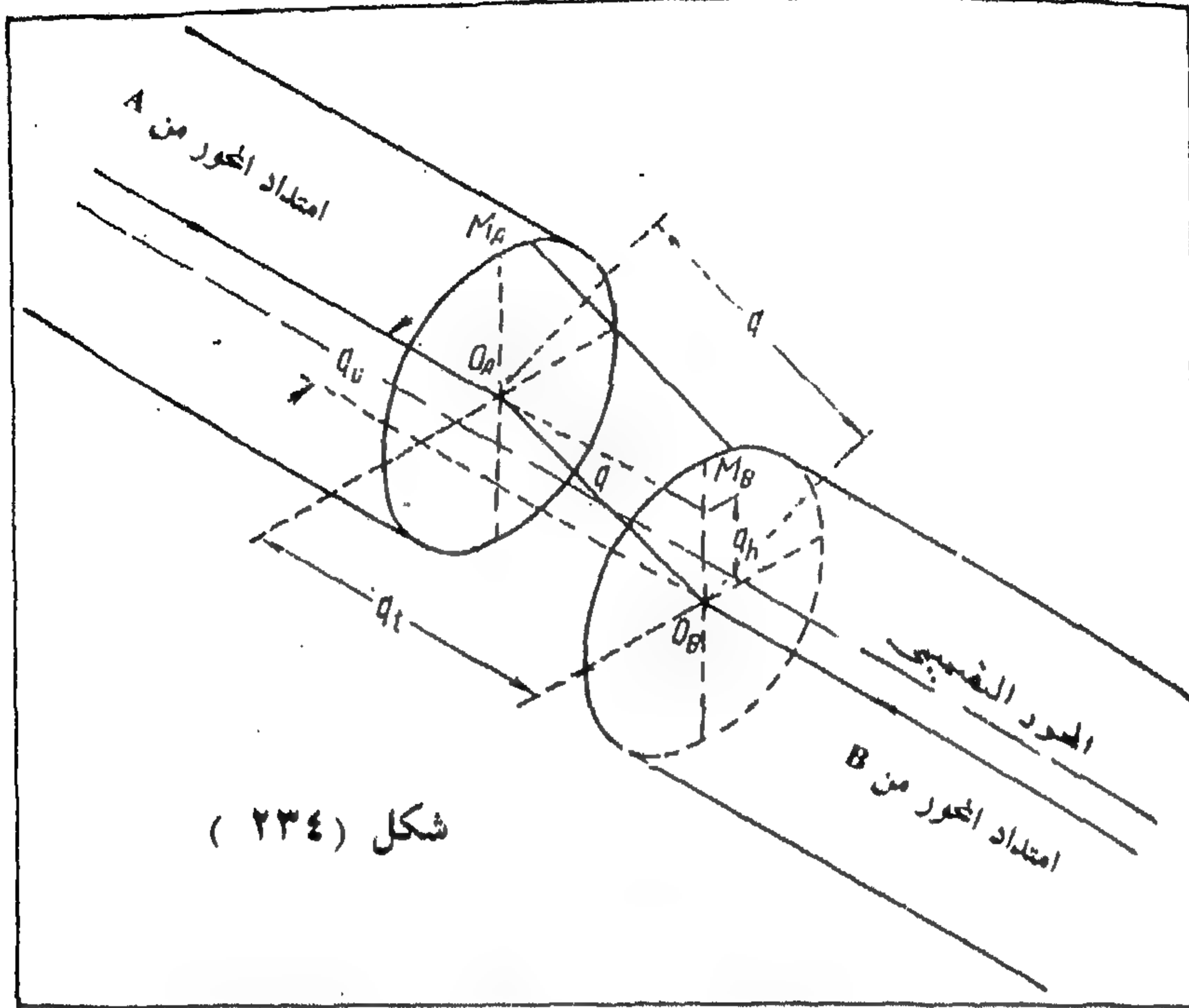
$q_h$  = المركبة الرأسية لخطأ التقابل .

$q_u$  = المركبة الأفقية لخطأ التقابل .

والواقع أنه إذا التقى الحفر فإن خطأ التقابل (q) سيكون فى مستوى قطاع النفق وسيكون مقداره المسافة O<sub>A</sub> O<sub>B</sub> فى هذا المستوى وتكون له مركبتان أفقية ورأسية .

ومسافة خطأ التقابل O<sub>A</sub> O<sub>B</sub> هى التى تحدد مدى دقة العمل المساحى فى النفق ولذا فهى محددة فى المواصفات وقيمتها تختلف تبعاً للغرض المنشأ من أجله النفق وإذا زادت قيمة الخطأ عن المسموح به فى المواصفات فيعاد العمل المساحى ثانية . والجدول (٣٠) المرفق مبين به المركبات الأفقية والرأسية لأخطاء التقابل فى بعض الأنفاق العالمية .





جدول ( ٣٠ ) يبين أخطاء التقابل في الأنفاق العالمية

خطأ التقابل ( مم )		النفق	
الرأسى (ع)	الأفقى (س)	طول النفق بالكم	مكان إنشاء النفق
١٠٠	٢٥٠	١٤,٩	Gotthard
٨٧	٢٠٢	١٩,٧	Simplon
١٠٢	٢٥٧	١٤,٥	Lotschberg
—	٦٢,٥	٢,٥	London Underground
٣٠٠	١٣,٥	١١,٦	Mont Blanc
٥٦	٥٥٠	٥,٥٥	Tauern
١٠	٥٠	٨,١٣	Hauenstein
٤٠	١٣٠	٣,٩٩	Suramsk
١٠	٥٠	٣,٥٥	Wasserfluth



وبناءً على معرفة مهندس المساحة بقيمة الخطأ المسموح به قبل العمل ومعرفته لظروف العمل يحدد دقة الأعمال التي سيقوم بتنفيذها ومنها يحدد نوعية الأجهزة التي ستستعمل ويحدد الطرق التي سينفذ بها هذا العمل ويحدد مسافة خطأ التقابل (q) التي يتم فيها تصحيح مسار الحفر من الجهتين والتي تكون فيها المركبتين الرأسية والأفقية مسموحاً بها .

### العوامل المؤثرة على مقدار خطأ التقابل في الأنفاق

تقسم الأعمال المساحية التي تستعمل عند إنشاء نفق إلى ثلاثة أقسام :  
القسم الأول يحتوي الأعمال التي تنفذ على سطح الأرض قبل بداية الإنشاء مثل شبكة المثلثات أو الترافرسات ثم الأعمال التي تنفذ في بداية الإنشاء وهي عملية الربط خلال الأييار ، ثم أخيراً الأعمال التي تنفذ لإنشاء النفق نفسه ، وتوجيه العمل داخل النفق وهي عادة شبكة ترافرسات رئيسية وكذلك تعمل ميزانية وذلك للربط الرأسى .

وعند إنشاء شبكة مساحية لإنشاء نفق فتكون من الشبكات الخاصة ذات الدقة العالية في جميع مراحل إنشائها فتكرر القياسات عدة مرات وتؤخذ المتوسطات فعند قياس الزوايا في شبكة المثلثات تقاس الزوايا مرتان على الأقل وفي طرفين مختلفين وكذلك لقياس الزوايا والأضلاع في الترافرسات فتقاس كل مرتين على الأقل في طرفين مختلفين أما بالنسبة للقياس داخل الأنفاق فتقاس الزوايا عدة مرات والأضلاع كذلك وعند تكرار القياس وأخذ المتوسط فيؤخذ فقط متوسط الزوايا التي تحتوي الفرق المسموح به طبقاً لنظرية الأخطاء . والعوامل المؤثرة على قيمة خطأ التقابل الناتج من عدم تقابل محوري النفق عند إنشائه يمكن تحديدها فيما يلي :

١ — الخطأ في شبكة المثلثات .

٢ — الخطأ في الترافرس الموصل من نقط المثلثات حتى نقطة التحديد فوق سطح الأرض .

٣ — الخطأ في ربط نقطة التحديد من أعلى سطح الأرض حتى النفق .

٤ — الخطأ في الترافرس الموصل من نقطة التحديد حتى الترافرس الأساسى بداخل النفق .



هـ - الخطأ في تحديد نقط محور النفق من الترافرس الأساسى بداخل النفق .

ومما يجدر ملاحظته أن قيمة الأخطاء المحتملة السابقة ليست متساوية القيمة  
فقيمة الخطأ في الترافرسات الموصلة إلى و من نقط الربط الرأسى أقل من قيم  
الأخطاء الأخرى خاصة أن قيمهم لا تعتمد على طول أو قصر النفق . وعموماً  
من الناحية العملية وفي الحسابات التقريبية لا يؤخذ هذان الخطآن في الاعتبار .

بأخذ الاعتبار السابقة في حساب قيمة الخطأ التريعى المتوسط ( راجع  
نظرية الأخطاء ) لخطأ التقابل نجد أن الأخطاء تؤول إلى :

ف<sub>١</sub> - الخطأ التريعى المتوسط للشبكة الموجودة فوق سطح الأرض .

ف<sub>٢</sub> - الخطأ التريعى المتوسط لضبط الربط عند (A) من أعلى سطح  
الأرض حتى النفق .

ف<sub>٣</sub> - الخطأ التريعى المتوسط لضبط الربط عند (B) من أعلى سطح  
الأرض حتى النفق .

ف<sub>٤</sub> - الخطأ التريعى المتوسط للترافرس الرئيسى داخل النفق من الناحية  
(A) وحتى التقابل .

ف<sub>٥</sub> - الخطأ التريعى المتوسط للترافرس الرئيسى داخل النفق من الناحية  
(B) وحتى التقابل .

ومن هنا فيمكن التعبير عن قيمة الخطأ التريعى المتوسط لخطأ التقابل ف  
بالمعادلة الآتية :

..... (١٩٢)

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 + F_3^2 + F_4^2 + F_5^2$$

ومن الدراسات السابقة لنتائج قيم الأخطاء المحتملة لأنفاق نفذت قبلا ذات  
أطوال ١ - ١,٥ كم تبين أن قيم الأخطاء متساوية تقريباً . فتطبيق هذه النتيجة  
ومساواة قيم الأخطاء السابقة بالقيمة المشتركة ف' أى بجعل :



$$ف' = ف_1 = ف_2 = ف_3 = ف_4 = ف_5 \text{ فتكون النتيجة أن } ف' = ف_5 \text{ أى أن :}$$

$$ف' = \sqrt{0.5} \text{ ..... (١٩٤)}$$

بفرض أن خطأ التقابل المسموح به لنفق ما يساوى  $\Delta 2$  وبفرض أن قيمة هذا الخطأ المسموح به تساوى ضعف الخطأ التريعى المتوسط فهذا يكون :

$$ف' = \Delta = \sqrt{0.5} \text{ ف'}$$

$$ف' = \frac{\Delta}{\sqrt{0.5}} = \Delta_{0.45}$$

$$ف' = \Delta_{0.45} \text{ ..... (١٩٥)}$$

مثال ١ - إذا كانت  $\Delta$  المسموح بها = ٥٠ مم ( أى أن الخطأ المسموح به فى المواصفات = ١٠٠ مم ) فتكون قيمة ف' =  $\frac{50}{\sqrt{0.5}} = 22.5$  مم .

وهذه تساوى قيمة الخطأ التريعى المتوسط المسموح به للأعمال السابق ذكرها .

أما بالنسبة للأنفاق التى يزيد طولها عن ١,٥ كم فقيمة الأخطاء لا تكون متساوية كما فى الأنفاق القصيرة فمثلاً الدقة التى يحتاجها ربط النقاط الموجودة أعلى سطح الأرض بمسار النفق أكبر من الدقة المطلوبة لتوقيع شبكة المثلثات ولذا فتؤخذ قيمة كل خطأ من الخمسة على حدة ويمكن حل هذه المسألة بحلول تقريبية بأن يضرب الخطأ التريعى المتوسط فى معاملات مختلفة تبعاً لدقة العمل . وعلى سبيل المثال فى حالتنا هذه فلأيجاد قيمة ف من المعادلة (١٩٣) فنأخذ قيم ف<sub>١</sub> ، ف<sub>٢</sub> ، ف<sub>٣</sub> ، ف<sub>٤</sub> ، ف<sub>٥</sub> كالآتى :



$$f_2 = 2,5 \text{ ف'}$$

$$f_4 = \text{ف'}$$

$$f_1 = 0,7 \text{ ف'}$$

$$f_3 = 3,5 \text{ ف'}$$

$$f_5 = \text{ف'}$$

وبالتعويض في المعادلة ( ١٩٣ ) لإيجاد قيمة ف :

$$f = \sqrt{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 + f_5^2} = \sqrt{0,7^2 + 2,5^2 + 3,5^2 + 0^2 + 0^2}$$

$$f = \sqrt{15} \text{ ف'}$$

$$f' = 0,26 \text{ ف} \quad \Delta 0,26$$

..... (١٩٦)

$$f' = 0,26 \text{ ف}$$

مثال ٢ — إذا كانت  $\Delta$  المسموح بها = ٥٠ مم فتكون  $f' = 13$  مم .  
ويكون الخطأ التريبيعى المتوسط المسموح به لشبكة المثلثات  $f_1 = 0,7 \text{ ف'}$  .

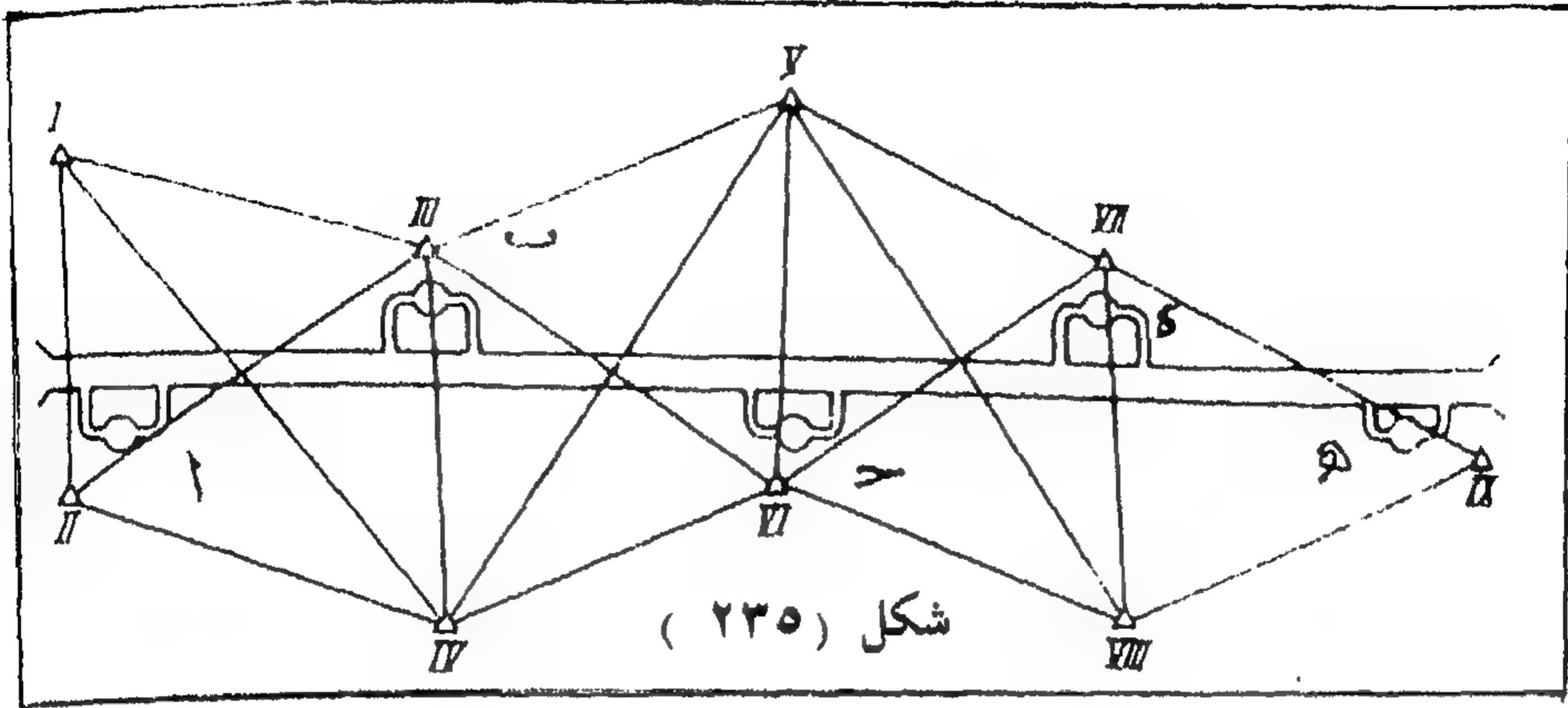
أى أن  $f_2 = 0,7 \times 13 = 9$  مم . أما الخطأ التريبيعى المتوسط لربط العلوى بالسفلى  $= f_3 = 2,5 = 22$  مم . أما الخطأ التريبيعى المتوسط لشبكة الترافرسات الرئيسية فى داخل النفق  $f_4 = f_5 = 13$  مم .

فى حالة صعوبة تحقيق إحدى القيم السابقة عند التنفيذ فبالإمكان تغيير المعاملات .

### حساب الدقة المطلوبة لشبكة مثلثات الأنفاق

بفرض أنه يراد إنشاء نفق بالإستعانة بإستخدام أسيار مساعدة ا ، ب ، ح ، د ، هـ والمحدد مكانها عن نقطة شبكة المثلثات المبينة بالشكل (٢٣٥) بدون الإستعانة بأى ترافرسات مساعدة . وعند ضبط الشبكة المتساوية الأضلاع فإن الخطأ الذى ينتج من الأخطاء الزاوية ( أخطاء قياس الزوايا ) يمكن تحديده عن طريق المعادلة الآتية :





(١٩٧) .....

$$f_{\text{تر}} = \pm l \frac{f''}{q''} \sqrt{\frac{2}{3}}$$

ل — طول ضلع الزاوية المحصورة .

ف — الخطأ التريعى المتوسط لقياس الزاوية فى الشبكة .

وبالتعويض عن  $f_{\text{تر}}$  بما يساويها من المعادلة (١٩٥) نجد أن :

(١٩٨) .....

$$f'' = \pm \frac{q \cdot \Delta_{0,45}}{\sqrt{\frac{2}{3}} l}$$

مثال ١ — بفرض أن  $l = ١,٥$  كم ،  $\Delta = ٥٠$  مم فتكون قيمة  $f'' = \pm ٣,٧$  .

وهكذا نجد أن الدقة تصل إلى  $٣,٧$  " لشبكة المثلثات التى طول الضلع فيها  $١,٥$  كم وهذه تدخل فى نطاق شبكة مثلثات الدرجة الثالثة وبذا فنجد أنه ليس من الصعوبة بمكان أن نصل إلى هذه الدقة خاصة أنها تنفذ فوق سطح الأرض .



أما في حالة صعوبة إستخدام شبكة مثلثات فتشأ شبكة ترافرسات كالمينة في شكل (٢٣٦) وفي هذه الحالة يمكن حساب الخطأ التريعى لقياس الزاوية .

(١٩٩) .....

$$f_r = \pm \frac{f''}{q} \sqrt{\frac{3+h}{12}}$$

حيث :

ل — مجموع أطوال أضلاع الترافرس .

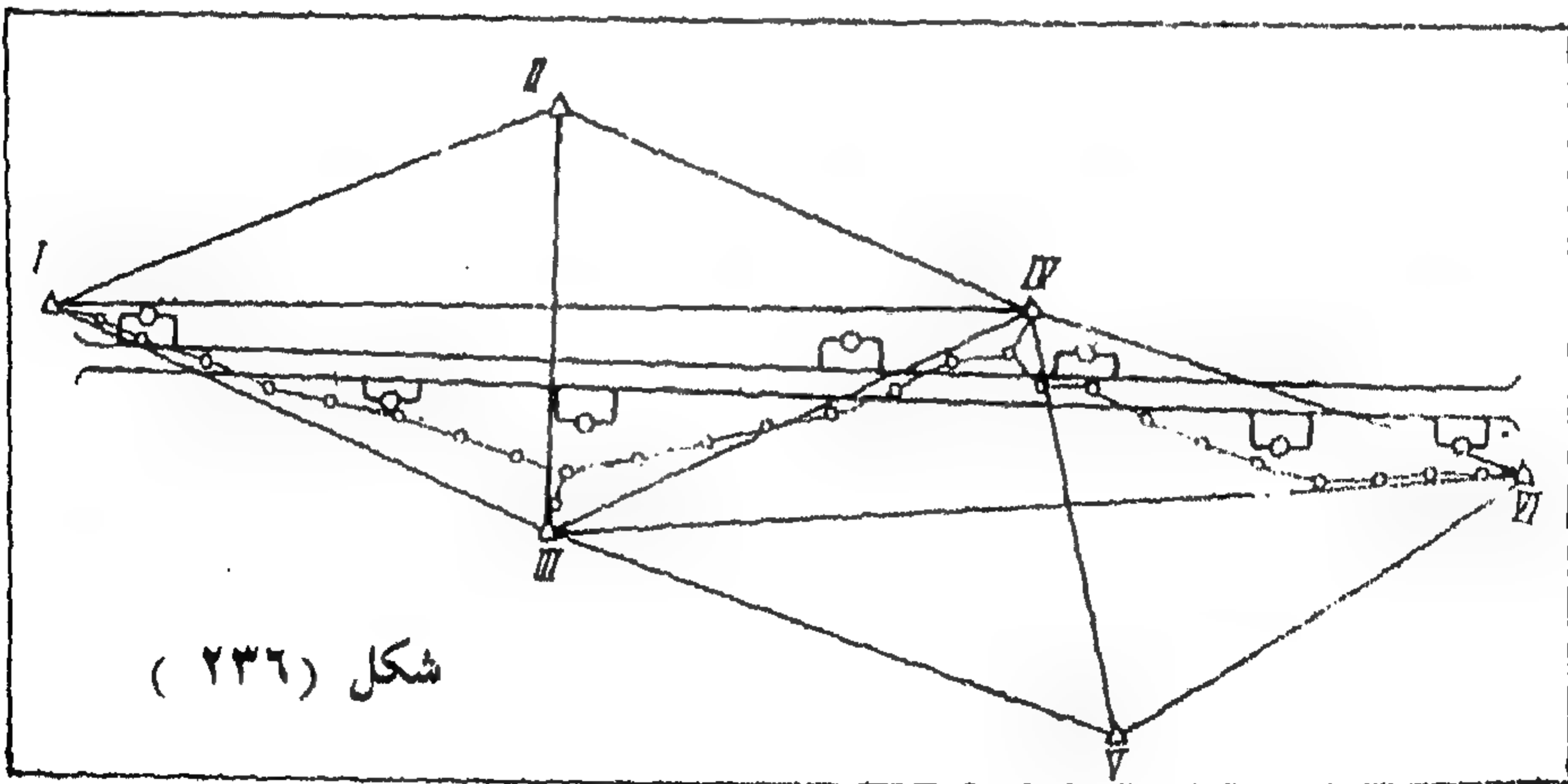
ف'' — الخطأ التريعى المتوسط لقياس الزاوية .

هـ — عدد أضلاع الترافرس .

وبالتعويض في المعادلة (١٩٩) عن قيمة ف ر بما يساويها من المعادلة (١٩٥) نجد أن :

(٢٠٠) .....

$$f'' = \frac{q \cdot \Delta 0,45}{\sqrt{\frac{3+h}{12}}}$$





مثال ٢ — بفرض أن  $\Delta = 50$  مم ،  $L = 1,5$  كم ،  $h = 6$  وبالتعويض في المعادلة السابقة نجد أن  $F = 3,5 \pm$  .

بعد العرض السريع السابق لأسباب وجود خطأ التقابل فمن الممكن زيادة الدقة وتقليل الخطأ لو أخذت في الاعتبار الملاحظات الآتية :

١ — يجب قياس انحراف أحد خطوط شبكة المثلثات عن الشمال بأحدى الطرق الدقيقة وعدم الاكتفاء بحساب تسلسلها من الشبكات الأكبر درجة .

٢ — وضع نقط المثلثات بحيث تكون قريبة بقدر الامكان إلى نقط الربط العلوى بمسار النفق .

٣ — الاعتماد أساساً على شبكات المثلثات في ربط النقط على سطح الأرض وجعل الربط بواسطة الترافرسات في أقل الحدود .

٤ — إعادة تكرار القياس للعمليات المساحية الرئيسية (٢٠) في فصول زمنية مختلفة .

وشبكة مثلثات الأنفاق يجب أن تكون من الدرجة الأولى أو الثانية تبعاً لطولها وظروف الإنشاء ويمكن أن تكون من الدرجة الثالثة وفي كل هذه الحالات يجب ألا يقل طول مضلع الشبكة عن ٢ كم . وفي الجدول (٣١) مبينة مواصفات شبكات المثلثات ذات الدرجات المختلفة التى تستعمل لإنشاء شبكة مثلثات الأنفاق .

جدول ( ٣١ )

درجة شبكات المثلثات	طول النفق بالكم	طول المضلع في الشبكة بالكم	الخطأ التريحي المتوسط لقياس الزاوية في الشبكة	الخطأ النسبي لطول المضلع الشبكة بالنسبة لخط القاعدة	الخطأ المطلق في طول المضلع
I	$5 <$	٢ — ٨	$1,0 \pm$	٦٠٠,٠٠٠:١	٣٠٠,٠٠٠:١
II	$5 - 1$	٤ — ١	$1,5 \pm$	٤٠٠,٠٠٠:١	٢٠٠,٠٠٠:١
III	$5 >$	٢ — ٠,٥	$2,5 \pm$	٢٠٠,٠٠٠:١	١٠٠,٠٠٠:١



ويجب ملاحظة أنه بجانب القيم الموجودة في الجدول يجب ألا يزيد الخطأ التريعى المتوسط لقياس الزاوية عن القيم التى تسمح بها الدقة العامة لتقابل المحاور حيث تتطلب دقة قد تكون أكبر من الدقة المسموح بها في الجدول .

وشبكة المثلثات تحدد بحيث تكون بقدر الإمكان من مثلثات متساوية وتوصل أطرافها لتكون أقطاراً وبذا تصبح الشبكة أكثر متانة . أما بالنسبة لخط القاعدة فتقاس قاعدة واحدة لو كان عدد المثلثات في الشبكة من ٣ — ٥ مثلثات وإذا زاد عددهم عن ذلك فيجب أن يقاس خط قاعدة آخر للتحقيق . وعموماً فوضع شبكة المثلثات يعتمد على شكل النفق نفسه ووضع الأييار الرأسية الواصلة للنفق والاعتبارات الطبوغرافية للمنطقة .

الشكل (٢٣٧) يبين أحد الأمثلة لشبكة مثلثات استخدمت لتنفيذ نفق وهى مكونة من مجموعة من الأشكال الرباعية مرصودة القطرين بالإضافة إلى شكل رباعى ذو مركز ، وقد استخدم في الشبكة خطا قاعدة أحدهما لإستنتاج أطوال أضلاعها والآخر للتحقيق .

### الترافرسات المكملة لشبكات المثلثات في مساحة الأنفاق

ويمكن تقسيم هذه الترافرسات إلى نوعين :

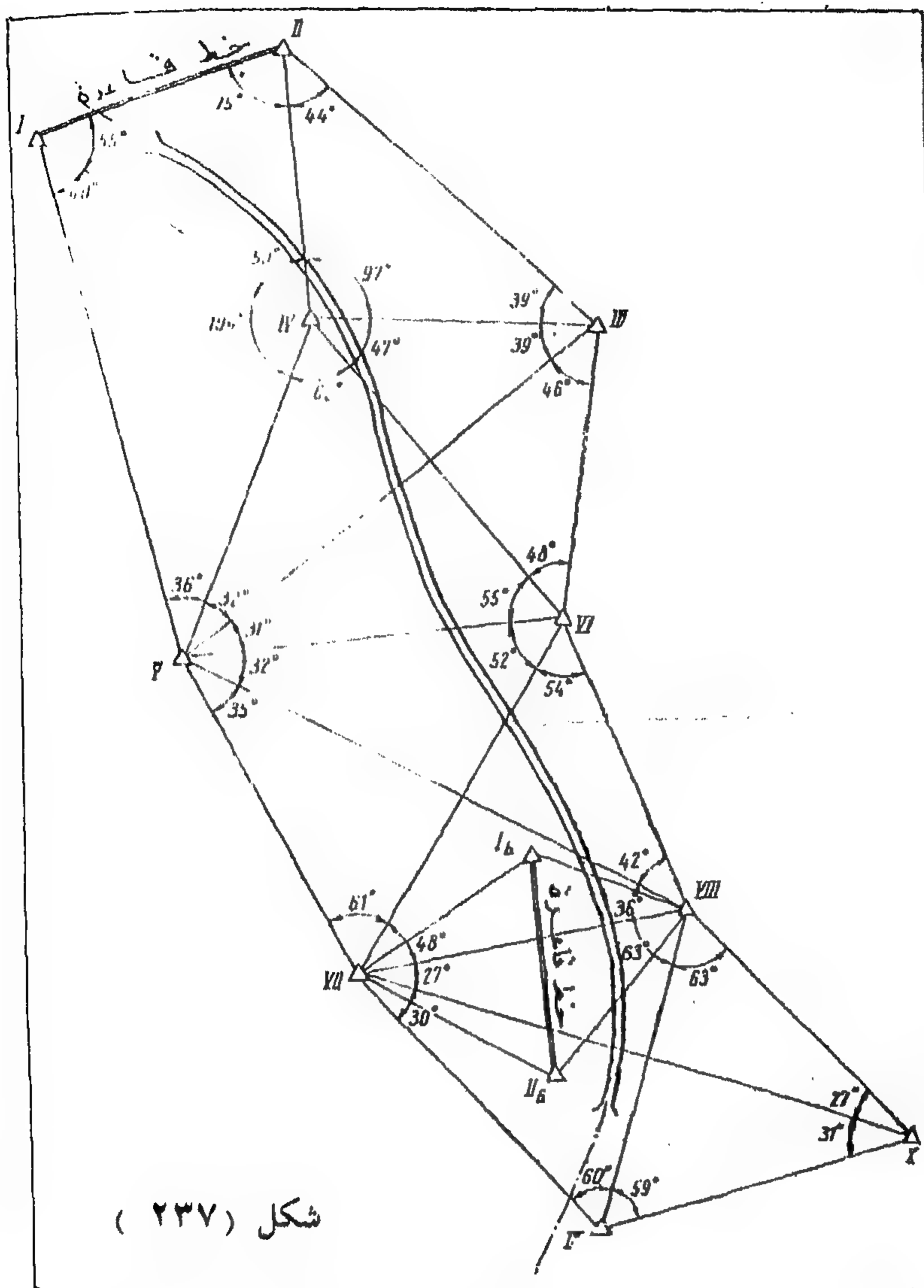
النوع الأول ( الرئيسى ) الذى يصل بين نقط المثلثات ويستمر بطول إتجاه مسار النفق وتقاس فيه الزوايا والأضلاع ( طول الضلع عادة ما بين ١٧٥ — ١٥٠ م ) .

والنوع الثانى وهو ما يسمى بالترافرس الموصل بين نقط الترافرسات الرئيسية ويغطى جانبى المنشأ .

الترافرس الرئيسى يمكن تلخيص مواصفاته فيما يلى :

تقاس زواياه بتيودوليتات دقيقة بحيث لا تزيد قيمة الخطأ التريعى المتوسط لقياس الزاوية عن  $\pm 4''$  . وتقاس الأضلاع بأسلاك من مادة الأنفار أو من الصلب أو باستخدام طريقة قضيب الأنفار أو بأجهزة القياس الالكترونى





القصيرة المدى . وإذا كان الترافرس طويلاً فيجب التأكد من قيم انحراف الأضلاع وربطها بشبكة المثلثات بعد كل ٨ أضلاع على الأكثر .

أما بالنسبة للترافرس الموصل حيث تنقل منه الأحداثيات والانحرافات عن طريق نقط التوصيل الرأسى خلال الأبيار إلى داخل النفق ومنه إلى الترافرس الرئيسى بداخل النفق ومن هنا تظهر أهميته فتقاس زواياه بحيث لا يزيد خطؤها



التريعى المتوسط عن  $\pm 6''$  . والخطأ النسبى لقياس طول الضلع فى الترافرس لا يزيد عن ١ : ١٠٠٠٠ وطول ضلع الترافرس يكون من ٣٠ إلى ١٥٠ متر .

والحد الأقصى لطول الترافرس الموصل بين نقط الترافرس الأساسى هو ٤٠٠ متر وتقاس الزوايا والأضلاع بالطرق العادية أما الخطأ المسموح به فى الترافرس الموصل فنحصل عليه من المعادلة :

$f = 6'' \sqrt{h}$
--------------------

..... (٢٠١)

حيث  $h =$  عدد الزوايا المقاسة فى الترافرس .

أما الأضلاع فتقاس بواسطة الشريط الصلب تحت شد ١٠ كج . ولا يزيد الفرق بين قراءتى المقياسين الأمامى والخلفى عن ٣ مم .

#### نقط الترافرس داخل النفق

توضع نقط الترافرس داخل النفق فى ظروف غير عادية حيث تنشأ فى ممر بعرض لا يزيد أحياناً عن ثلاثة أمتار وتقاس الزوايا بين الأضلاع تحت ظروف صعبة .

ونقط الترافرس يكثر عددها وتقل المسافة بينها فى الأجزاء المنحنية حيث توضع نقط كل ١٠ أمتار تقريباً على المنحنى الخارجى للنفق بينما تطول المسافة بين النقط فى الأجزاء المستقيمة كل حوالى ٥٠ — ١٠٠ متر وتتخللها نقط فرعية للترافرسات الفرعية اللازمة للأنشاء وتوضع كل حوالى ٢٥ — ٥٠ متر .

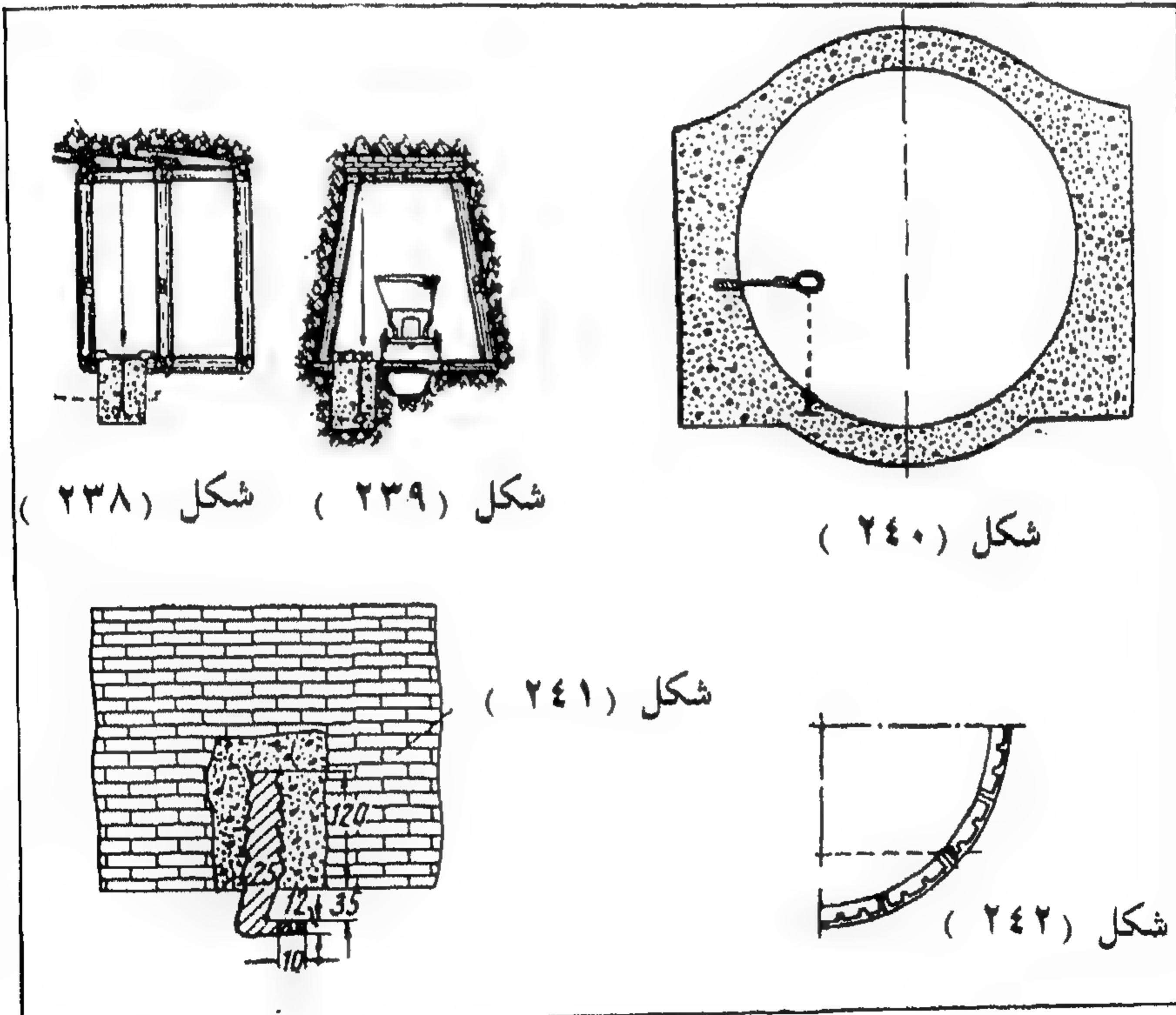
ويجب الأخذ فى الاعتبار عند إنشاء هذه النقط الملاحظات الآتية :

- ١ — تثبيت النقط فى مكان يمكن منه قياس الزاوية بوضوح .
- ٢ — يكون وضع النقطة فى مكان لا يتعارض مع تنفيذ الأعمال الأخرى .
- ٣ — تكون النقط بحيث يمكن أن تقوم فى نفس الوقت بعمل نقط ميزانية .



٤ — أن تكون بسيطة وسهلة في تثبيتها في مكانها حتى الانتهاء من الأنشاء  
وبعده .

وتكون العلامات عادة عبارة عن سيخ من الصلب أو جزء من ماسورة  
يثبت في أرضية النفق كما في القطاع رقم (٢٣٨)، (٢٣٩) أو جسم النفق نفسه  
وفي هذه الحالة يمكن تركيب قاعدة في هذه النقطة ويوضع عليها التيودوليت أو  
العلامة كما في الشكل (٢٣٨) وفي بعض الأحيان تثبت العلامة في أعلى النفق  
ويسقط منها خيط شاغول يضبط على أساسها مكان النقطة وتثبت هذه عادة  
في الأنفاق الخرسانية أو الصخرية وقطاعها المين في الشكل (٢٣٨) أما في  
الأنفاق المبطنة بقطاعات من الصلب فتلحم في جوانبها العلامة كما هو موضح  
في القطاع رقم (٢٤٢) .





## الباب الثالث والعشرون

### ربط شبكات المثلثات الأرضية بالشبكة الداخلية في الأنفاق

#### Orientation

تربط شبكة المثلثات الموجودة على سطح الأرض بمحور النفق وبذا يمكن إستنتاج إحداثيات نقط محور النفق وكذلك انحرافات أضلاعه من إحداثيات وانحرافات الشبكة الموجودة على سطح الأرض وتسمى هذه العملية عملية الربط الرأسى ( Orientation ) وتم هذه العملية بدقة عالية جداً وتختلف طرق الربط حسب الإمكانيات المتاحة وحسب الدقة المطلوبة وتوجد طرق عدة لهذا الربط .

الطريقة الأولى : وهى طريقة الربط خلال بئر رأسى واحد .

الطريقة الثانية : وهى طريقة بئر مائل أو أفقى .

الطريقة الثالثة : وهى طريقة الربط خلال بئرين رأسيين .

وعند إستعمال الطريقتين الثانية والثالثة فتتمد شبكة ترافرسات أمتداد للشبكة الموجودة على سطح الأرض وعموماً فالطريقة الأولى هى الأوسع إنتشاراً .

أما طرق التنفيذ فهى مختلفة وتعتمد على نوعية الأجهزة الممكن إستعمالها ويمكن تجميع الطرق التنفيذية فيما يلى :

١ — باستعمال سلك الشاغول وتصل الدقة فى هذه الحالة إلى  $\pm 3.0'$  عند إستعمال سلكين شاغول فى بئر واحد .

٢ — باستعمال بعض الأجهزة الخاصة مثل الجيروسكوب .

٣ — باستعمال الأجهزة الضوئية أو الألكترونية .

وفيما يلى سوف نتعرف بالتفصيل على طريقة الربط بواسطة الطريقة الأولى وهى باستعمال سلك الشاغول . وتوجد طريقتان للتنفيذ الطريقة الأولى

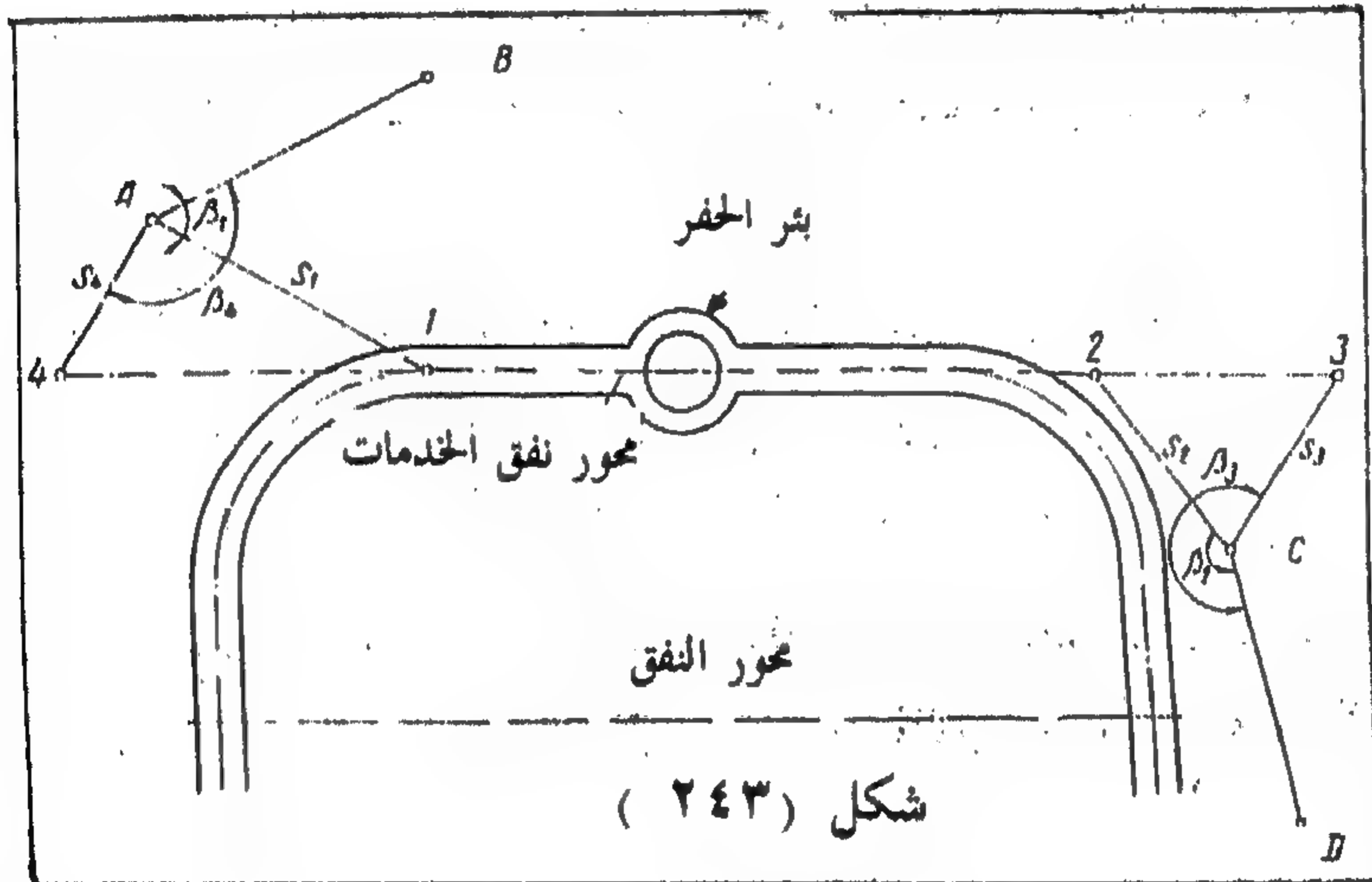


وتسمى الربط بطريقة تثبيت الاتجاه والطريقة الثانية وتسمى الربط بطريقة  
المثلثات المساعدة .

### طريقة الربط خلال بئر رأسى

أولاً - الربط بتثبيت الاتجاه :

طريقة تثبيت الاتجاه بواسطة سلكين شاغول على الاتجاه الواصل بين نقطتين  
محددتين على سطح الأرض ومعروف زاوية انحراف الخط الواصل بينهما وذلك  
من شبكة المثلثات أو الترافرسات الأساسية أو بالاستعانة بترافرس موصل  
مساعد كما فى شكل (٢٤٣) .



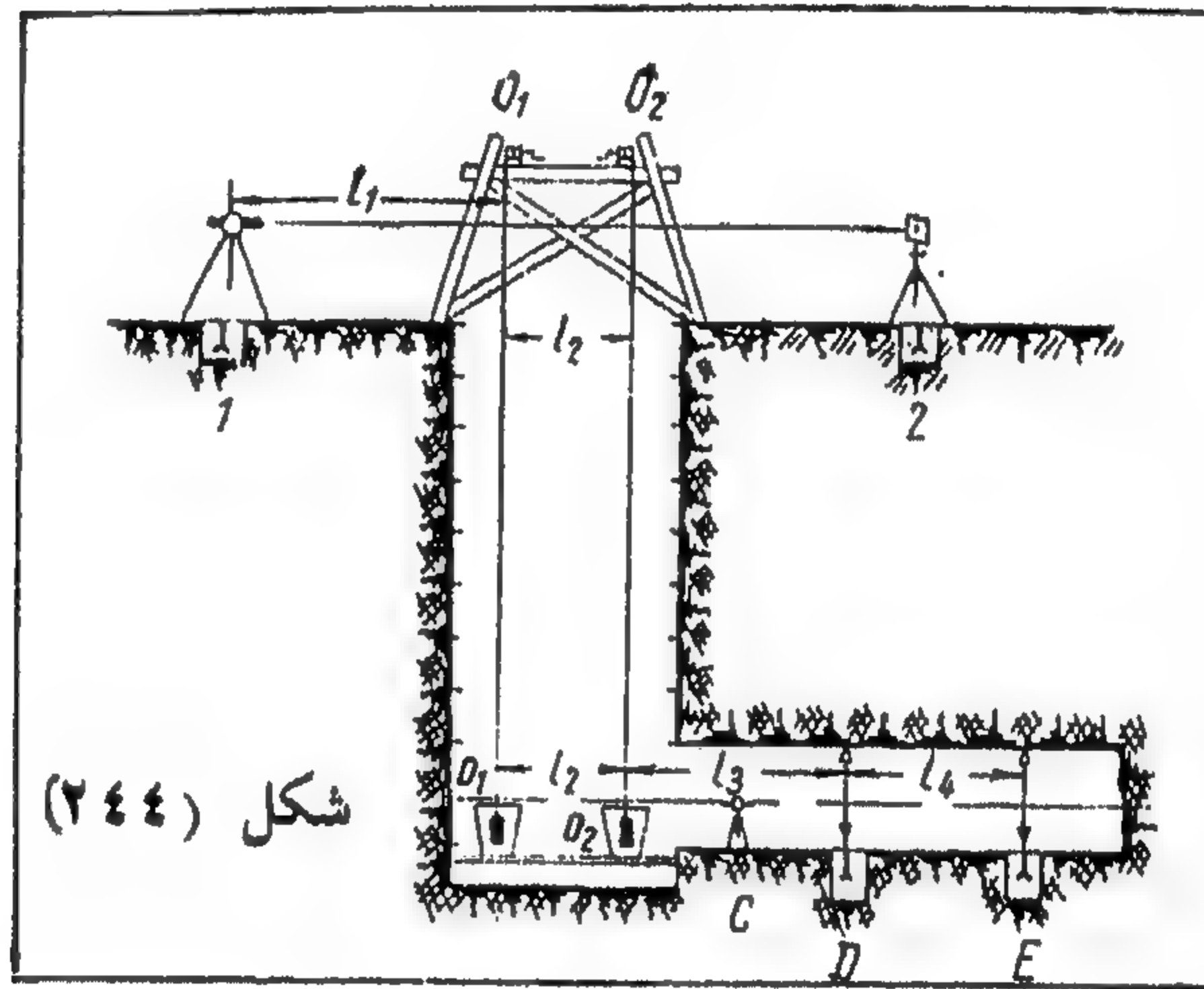
ويحدد وضع السلكين بواسطة تيودوليت يوضع على إحدى النقطتين  
ولتكن (١) ويوجه إلى علامة على النقطة الأخرى (٢) ويسقط أحد السلكين  
بحيث يكون متقاطعا مع الخط الواصل بين العلامتين والمحدد باتجاه التيودوليت  
وبنفس الطريقة يسقط السلك الآخر فى البئر كما هو مبين فى شكل (٢٤٤)  
والذى فيه وضع التيودوليت فوق نقطة (١) وعلامة الرصد فوق نقطة (٢) .

وفى أسفل البئر ( مستوى قاع النفق ) حيث ينتهى السلك بثقل يوضع فى  
إناء ( ١٠ ، ٢٠ ) سائل ليثبت رأسية السلك ويجعل السلك يحفظ إتجاهه  
بأقل ذبذبة ممكنة .



بعد تثبيت الإتجاه أسفل البئر يحدد إمتداد الخط الواصل بين السلكين بواسطة تيودوليت عند نقطة C ويكون هذا الإتجاه هو نفس الاتجاه لما فوق البئر ( على سطح الأرض ) وتثبت نقط ترافرس داخل النفق مثل D ، E على إمتداد الإتجاه المعلوم . وتقاس المسافة بين السلكين ل<sub>٢</sub> وبين السلكين ونقطة المثلثات الأولى ل<sub>١</sub> في أعلى البئر ومنها تحسب إحداثيات نقط السلك وكذلك المسافة بين السلك وبين نقط الترافرسات في داخل النفق . ومنها تحسب إحداثيات نقط الترافرس داخل النفق .

التوقيع بهذه الطريقة يعطى خطأاً تربيعي متوسط في حدود  $\pm 30''$  . وفي شكل (٢٤٤) مبين قطاع توضيحي لهذه العملية .



أما لحساب إحداثيات النقط D ، E بمعلومية إحداثيات النقط ١ ، ٢ فتقاس المسافة ل<sub>١</sub> والمسافة ل<sub>٢</sub> بدقة وبمعلومية انحراف الخط ١ — ٢ والمسافة ل<sub>٣</sub> يمكن معرفة إحداثيات نقطة O<sub>٢</sub> وكذلك بمعلومية المسافة ل<sub>٢</sub> يمكن معرفة إحداثيات O<sub>١</sub> . ثم بقياس المسافة بين O<sub>١</sub> ، D ( أى المسافة ل<sub>٣</sub> ) وكذلك D E ( أى المسافة ل<sub>٤</sub> ) يمكن حساب إحداثيات النقط D ، E حيث أن انحراف الخط D E معروف وهو نفس انحراف الخط O<sub>١</sub> O<sub>٢</sub> .

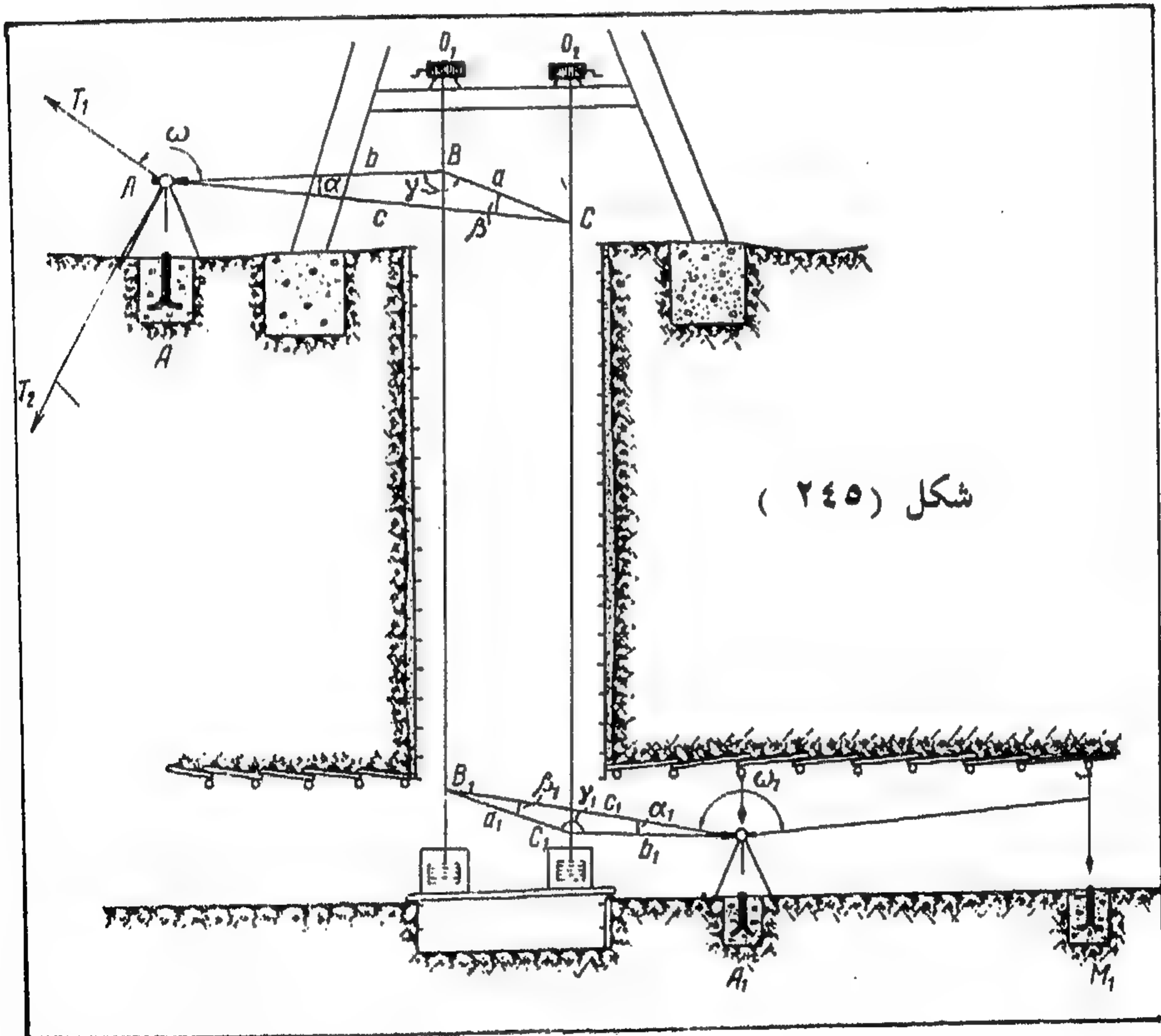
الخطأ التربيعي المتوسط في حساب زاوية انحراف الضلع D E من ١ — ٢ بهذه الطريقة حوالى  $\pm 30''$  . ومنها فيكون الخطأ الكلى في قيمة الانحراف يساوى  $60''$  .



## ثانياً - الربط بواسطة المثلثات المساعدة

( Weisbach Triangle )

وفي هذه الطريقة يسقط سلكا شاغول في البئر حتى منسوب النفق كما في الطريقة السابقة ثم يوضع تيودوليت على النقطة الأرضية A وتقاس الزاوية  $\alpha$  عند A بين الاتجاهين إلى السلكين عند B ، C وتقاس كذلك الزاوية  $\omega$  بين أحد الاتجاهين والاتجاه إلى نقطة المثلثات القريبة  $T_1$  . وخلاف ذلك فتقاس المسافات A B ، A C من الجهاز إلى مكان نقطتي إسقاط الثقليين والمسافة B C كما في الشكل ( ٢٤٥ ) .



وهكذا نجد أنه في المثلث العلوي A B C قيست أضلاعه وإحدى زواياه وهذا المثلث يسمى بمثلث الربط . ومن نتيجة القياس يمكن إستنتاج قيمة



الزاويتين الآخرتين  $\beta$  و  $\gamma$  . وكذلك يمكن حساب انحراف الخط  $A B$  بمعلومية الزاوية  $\omega$  ومنه نستطيع إستنتاج قيمة انحراف الخط  $B C$  .

أما الجزء السفلى خلال النفق فتثبت نقطة  $A_1$  التى يتم الرصد منها إلى السلكين ومن هذه النقطة تقاس الزاوية  $\alpha_1$  والزاوية  $\omega_1$  المحصورة بين الاتجاه  $A_1 B_1$  والاتجاه  $A_1 M_1$  وكذلك أطوال أضلاع المثلث  $A_1 B_1 C_1$  . فبذا تكون قد قيست كل أضلاع مثلث الربط السفلى داخل النفق  $A_1 B_1 C_1$  وزاوية من زواياه وبطريقة عكسية يمكن حساب انحراف ضلع الترافرس  $A_1 M_1$  ويستمر القياس بعد ذلك على إمتداد النفق .

وبمعرفة إحداثيات النقطة  $A$  ، ومن بيانات المثلث الأرضى يمكن معرفة إحداثيات النقط  $B$  و  $C$  التى هى فى نفس الوقت إحداثيات النقط  $B_1$  ،  $C_1$  داخل النفق ثم تحسب إحداثيات النقطة  $A_1$  وتسلسل منها باقى إحداثيات نقط الترافرس داخل النفق .

ويلاحظ أنه فى شكل (٢٤٥) تم رسم المثلثات بشكل فراغى للتوضيح وشكل (٢٤٦) يوضح مسقط ايزومتري لهذه العملية بالإضافة إلى مسقط أفقى يبين العلاقة بين مثلثى الربط العلوى والسفلى بحيث يمكن بسهولة اتمام حساب الانحرافات للترافرس السفلى من واقع انحراف ضلع مثلث الربط العلوى حيث أن :

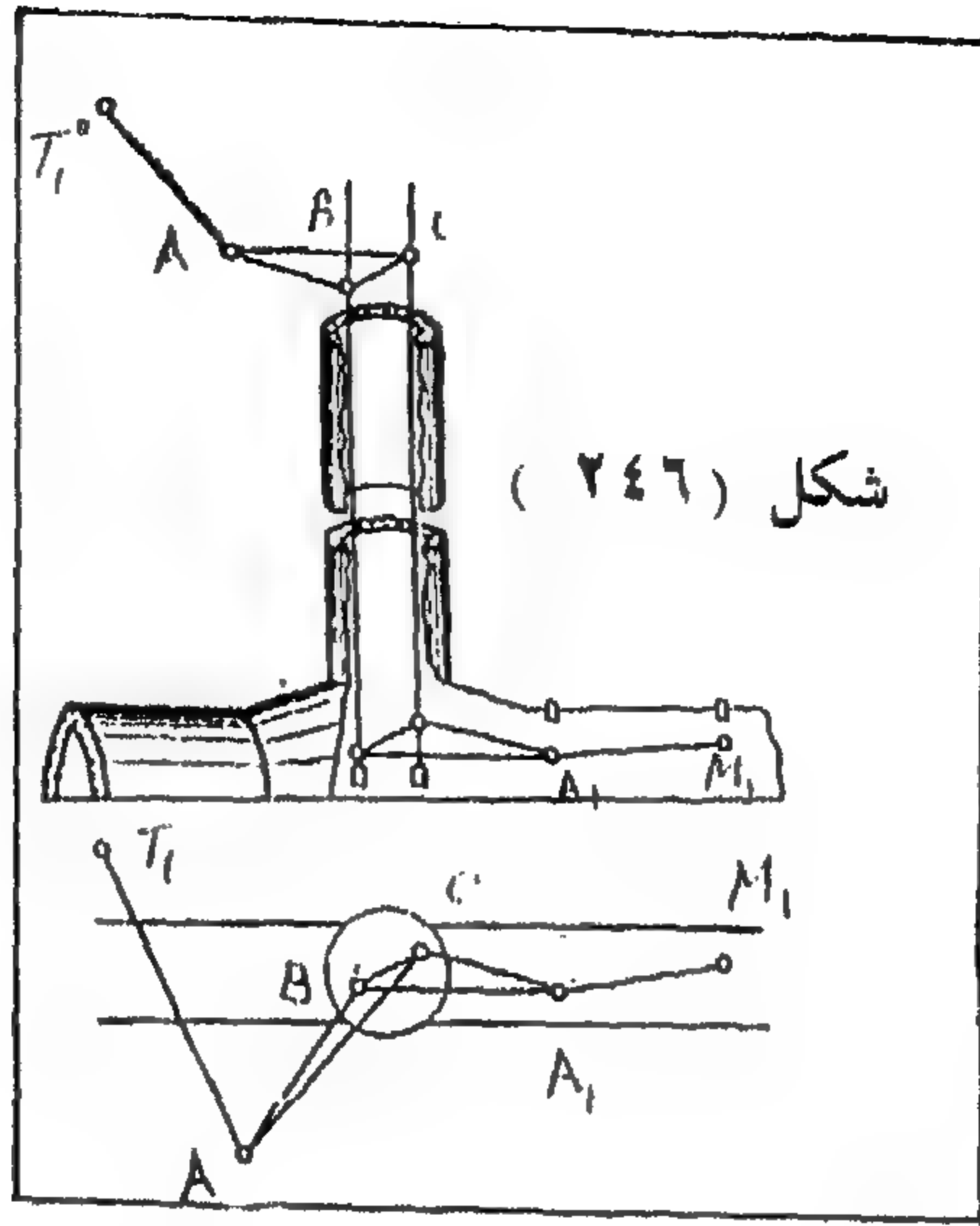
..... (٢٠٢)

$$\text{جا } \beta = \text{جا } \alpha \cdot \frac{A B}{B C}$$

وبذا يمكن حساب انحراف الخط  $B C$  وهو ذاته انحراف الخط  $B_1 C_1$  . ومن زوايا المثلث السفلى يمكن تكملة الحساب . وعند اختيار مثلثات الربط تراعى الأعتبارات التالية حتى تظهر أقل قيمة ممكنة للأخطاء :

١ — أن يكون المثلث منفرج الزاوية والزاوية  $\alpha$  يجب أن تقترب من الصفر بقدر الإمكان ولا تزيد قيمتها عن  $93^\circ$  ( ثلاث درجات ) فى أى الأحوال .





- ٢ - المسافة بين السلكين تكون كبيرة بقدر الإمكان فمثلاً إذا كان قطر البحر ٦ متر فالمسافة بين السلكين يجب أن تكون بين ٤ - ٥,٥٠ متر .
- ٣ - أن تكون قيمة النسبة  $\frac{AB}{BC}$  أقل ما يمكن .

وللأخطاء الممكن حدوثها أثناء الربط من أعلى ( سطح الأرض ) إلى داخل النفق يمكن حصرها فيما يلي :

- ١ - خطأ قياس زاوية الانحراف ( ف ح ) .
  - ٢ - خطأ قياس الزاوية  $\beta$  ( ف  $\beta$  ) .
  - ٣ - خطأ قياس طول الضلع المجاور للزاوية ( ف ر ) .
  - ٤ - خطأ ثبات رأسية السلك ( ف هـ ) .
- فيكون الخطأ النهائي للربط من أعلى إلى أسفل عبارة عن :

..... (٢٠٣)

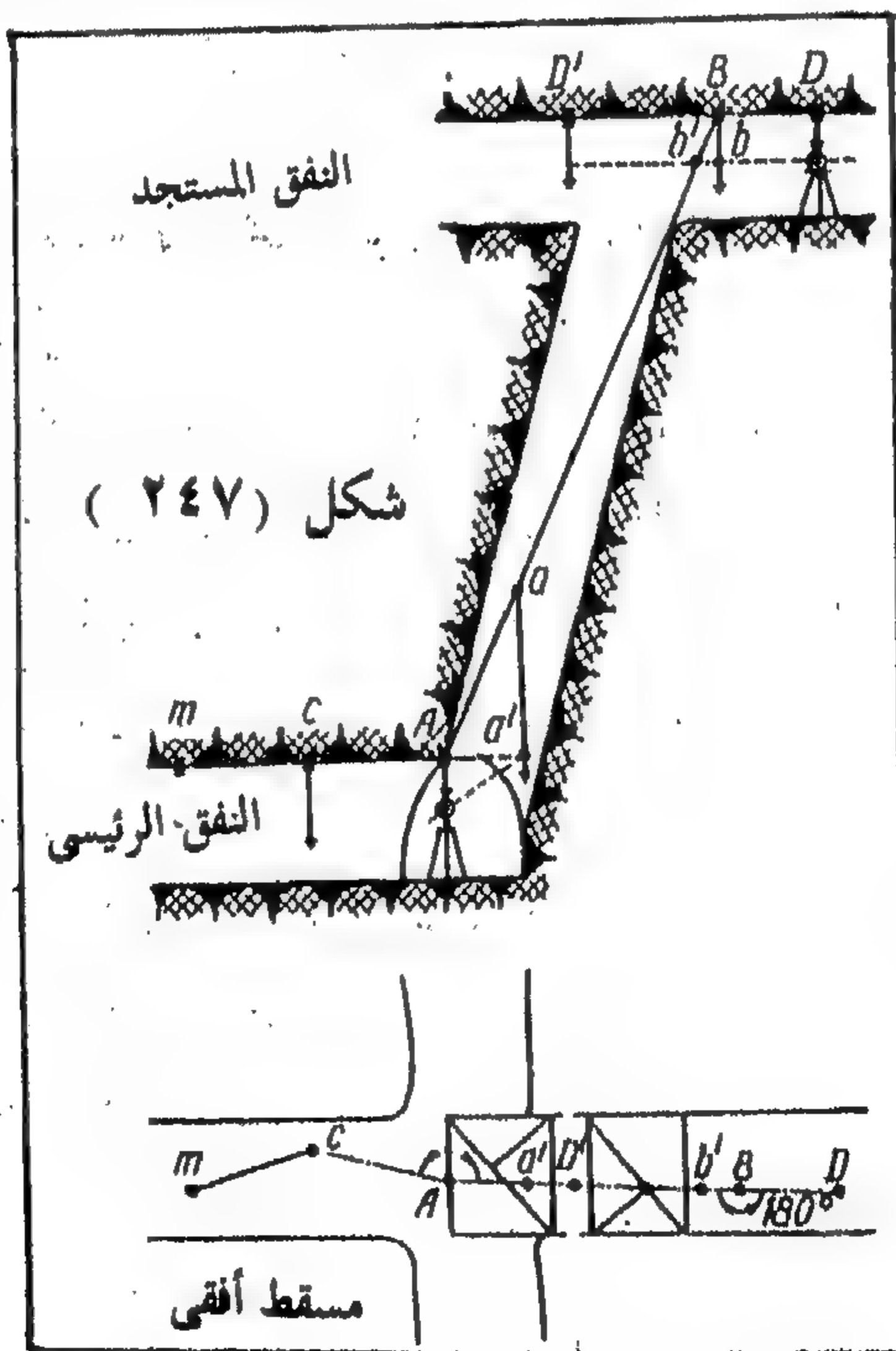
$$f_r^2 = f_h^2 + f_r^2 + f_\beta^2 + f_c^2$$



## طريقة الربط خلال بشر مائل

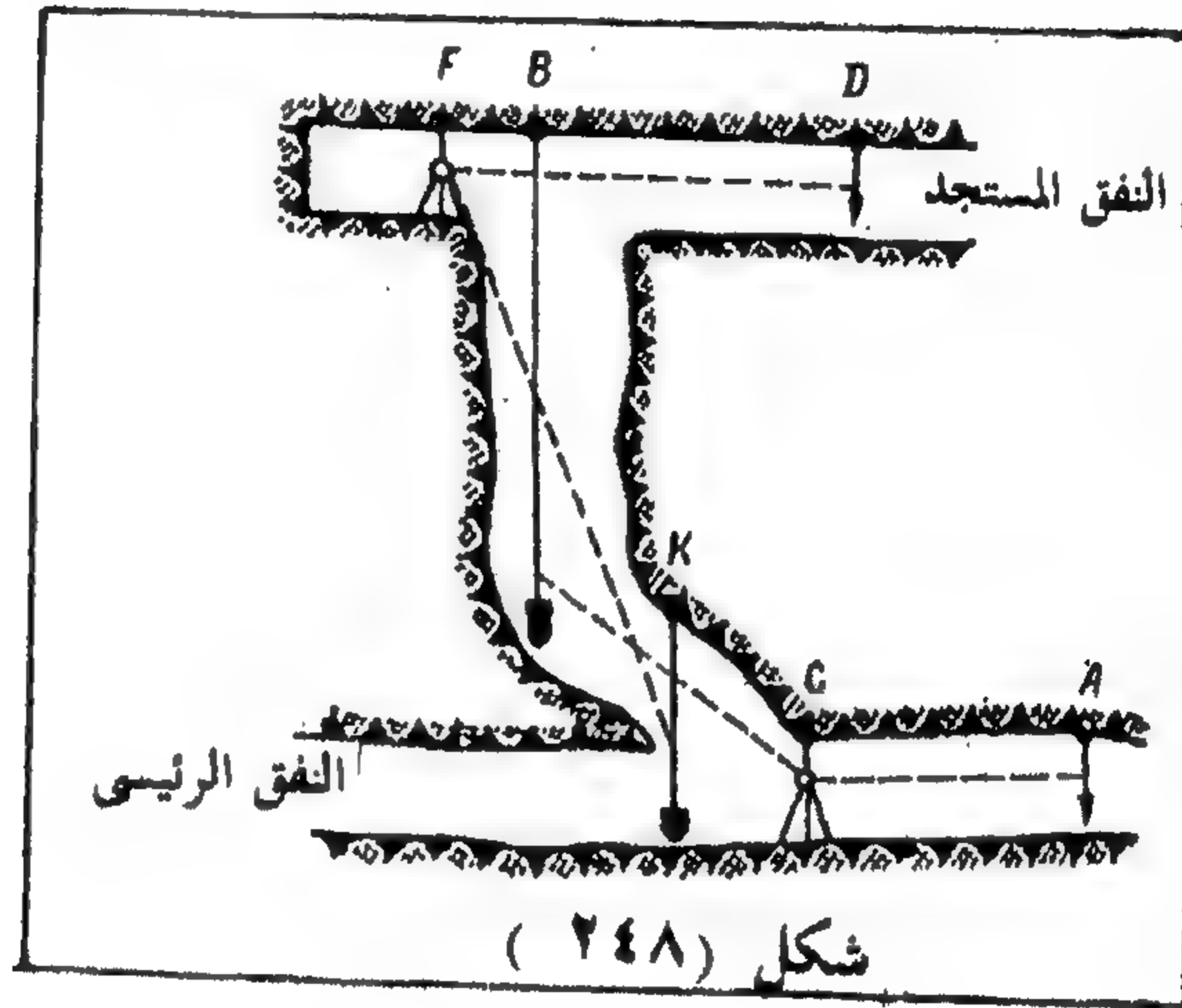
وهي تستخدم عادة في ربط محاور مجموعة من الأنفاق محاورها تقع في مستويات مختلفة المناسيب ، وهذا يحدث عادة في المناجم عندما يتم البحث عن المعادن في أكثر من طبقة لها أكثر من متسوب ، أو في محطات مترو الأنفاق التي يمر بها أكثر من مسار كل منها يتخذ متسوب معين .

وأسلوب الربط في هذه الحالة يتم بحفر بئر مائل يصل بين النفق الرئيسي والنفق المستجد كما هو مبين في شكل (٢٤٧) ، أو بحفر بئر يجمع بين الرأسى والمائل كما هو مبين في شكل (٢٤٨) حيث يتم اختيار موقع لجهاز التيودوليت في النفق الرئيسي يمكن منه الرصد إلى النفق الجديد كما هو مبين في شكل (٢٤٧) وبثبيت نقطة A أعلى التيودوليت بسقف النفق الرئيسي وبمعلومية نقط الربط في النفق الرئيسي C ، M يتم تحديد انحراف الخط A C . يتم تثبيت نقطة B في سقف النفق الجديد ترى نقطة A ويتم ربط موضع النقطتين A ، B بسلك يعلق به خيط شاغول يمكن رصده بالتيودوليت الموضوع عند A





وبالتالى يمكن تحديد انحراف الخط  $AB$  بقياس الزاوية  $CAa'$  وبمعرفة انحراف  $Ac$  يعلق خيط شاغول عند  $B$  فى النفق الجديد وتختار نقطة  $D$  فى نفس إتجاه خيط الشاغول — السلك ( إتجاه  $b'b'$  ) حيث يثبت جهاز تيودوليت عند  $D$  يرصد به الإتجاه  $b'b'$  ويثبت به موضع نقطة جديدة فى هذا النفق  $D'$  ، والآن أصبح لدينا ثلاث نقط ربط فى هذا النفق  $D$  ،  $B$  ،  $D'$  انحراف الخط الواصل بينهم هو نفسه انحراف الخط  $Aa'$  فى النفق الرئيسى .



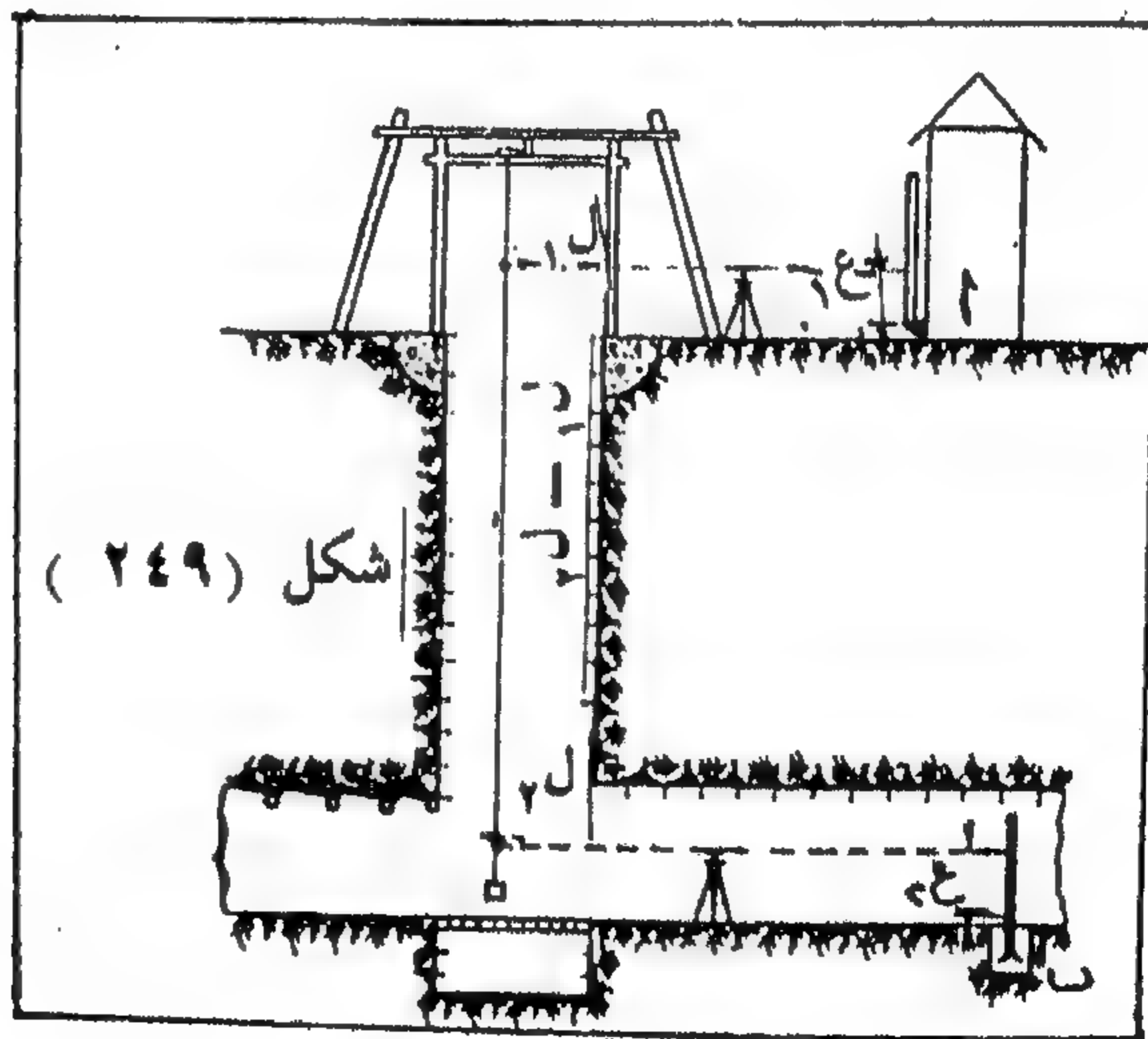
وفى حالة استخدام هر يجمع بين الرأسى والمائل كما هو فى شكل (٢٤٨) فإنه يختار للتيودوليت موقع عند  $C$  فى النفق الرئيسى ويتم الرصد على نقط الربط  $A$  فيتحدد الإتجاه  $CA$  ، ثم يتم تعليق خط شاغول فى نهاية الجزء المائل عند السقف وليكن عند  $K$  حيث يتم الرصد عليه من  $C$  فيتحدد الإتجاه  $CK$  ويتم اختيار موضع لخيط شاغول جديد يعلق فى سقف النفق الجديد عند نقطة  $B$  بحيث يكون هذا الشاغول فى نفس الإتجاه  $CK$  ( أى يتم رصده بالتيودوليت من  $C$  ) وبهذا تصبح كلا من  $B$  ،  $K$  ،  $C$  على خط واحد . بأختيار موقع للتيودوليت فى النفق الجديد  $F$  على استقامة  $K$  ،  $B$  يصبح الإتجاه  $FBK$  مطابق للإتجاه  $CKB$  وعلى ذلك تختار أولى نقط الربط الجديدة فى النفق الجديد وهى النقطة  $D$  تقع على هذا الإتجاه .



## نقل المناسيب من سطح الأرض إلى داخل الأنفاق

لا تقل دقة تنفيذ الميزانية عن دقة تنفيذ المثلثات أو الترافرسات . وفى العادة تسلسل ميزانية الأنفاق من روبريات الدرجة الثانية الحكومية ثم تربط خلال آبار الحفر إلى أسفل إنفاق الخدمات ثم خلال النفق ذاته . لذا فتركب علامات شبيهة بالروبيريات على مسافات على طول محور النفق لتخدم عملية الميزانية ، وفى نفس الوقت تستعمل هذه العلامات لضبط الهبوط الرأسى فى جسم النفق نفسه .

وتحدد درجة الميزانية تبعاً للطول التصميمى للنفق وتبعاً للغرض الذى تجرى من أجله الميزانية . وفى العادة فإن ميزانية من الدرجة الرابعة تحقق الدقة المطلوبة وهذه كافية للأنفاق الطويلة حتى ٢ كم . أما فى حالة حساب الهبوط الرأسى لجسم النفق فيلزم عمل ميزانية من الدرجة الثالثة وفى العادة لنقل المناسيب إلى داخل النفق تستخدم طريقة الميزانين والشريط وفيها يعلق شريط من الصلب رأسياً داخل بئر الحفر شكل (٢٤٩) بحيث تكون علامة الصفر فيه إلى أسفل ويوضع ميزان على السطح متوسطا المسافة بين الشريط وبين النقطة الثابتة أ ، وميزان آخر داخل النفق متوسطا المسافة بين الشريط وبين علامة الميزانية داخل النفق ب . وفى وقت واحد نأخذ قراءة الميزان العلوى والسفلى على الشريط ولتكن ل<sub>١</sub> ، ل<sub>٢</sub> ثم فى وقت واحد أيضاً نأخذ قراءتى القامة العلوية والسفلية ولتكن ع<sub>١</sub> ، ع<sub>٢</sub> . وبهذا فإن منسوب علامة الميزان ب يكون مساوياً .





(٢٠٤) .....

$$\text{منسوب ب} = \text{منسوب (أ)} + \text{ع}_1 - [ \Delta \text{ك} + \Delta \text{ت} + (\text{ل}_2 - \text{ل}_1) ] - \text{ع}_2$$

حيث :

$$\text{ل}_2 - \text{ل}_1 = \text{فرق القراءتين على الشريط .}$$

$$\Delta \text{ت} = \text{التصحيح في طول الشريط لدرجة الحرارة .}$$

$$\Delta \text{ك} = \text{التصحيح المطلق للشريط المستخدم .}$$

والتصحيح في طول الشريط لدرجة الحرارة يمكن حسابه من المعادلة الآتية :

(٢٠٥) .....

$$\Delta \text{ت} = \alpha (\text{ل}_2 - \text{ل}_1) (\text{ت} - \text{ت}_1)$$

حيث :

$$\alpha = \text{معامل التمدد لمادة الشريط ( وهو في حالة الصلب } = 11 \times 10^{-6} \text{ ) .}$$

$$\text{ت}_1 = \text{درجة حرارة المعايرة للشريط .}$$

$$\text{ت} = \text{درجة الحرارة المتوسطة أثناء إجراء الميزانية .}$$

ويجب التنويه هنا إلى أن درجة الحرارة على سطح الأرض تختلف عنها داخل النفق لذلك ولزيادة الدقة نأخذ درجة الحرارة عند السطح وكل خمسة أمتار داخل بئر الحفر وحتى أسفل شريط القياس ثم يؤخذ المتوسط . أما التصحيح المطلق  $\Delta \text{ك}$  فيمكن الحصول عليه بإجراء معايرة للشريط المستخدم ومقارنة الطول العياري بالطول الاسمي له .

ويجب مراعاة إجراء التصحيح في الشريط  $\Delta \text{ل}$  نتيجة للتمدد الناتج فيه من وزنه الأصلي وما يعلق فيه من أحمال لثباته أثناء إجراء الميزانية ، وهذا التصحيح يحسب من المعادلة الآتية :

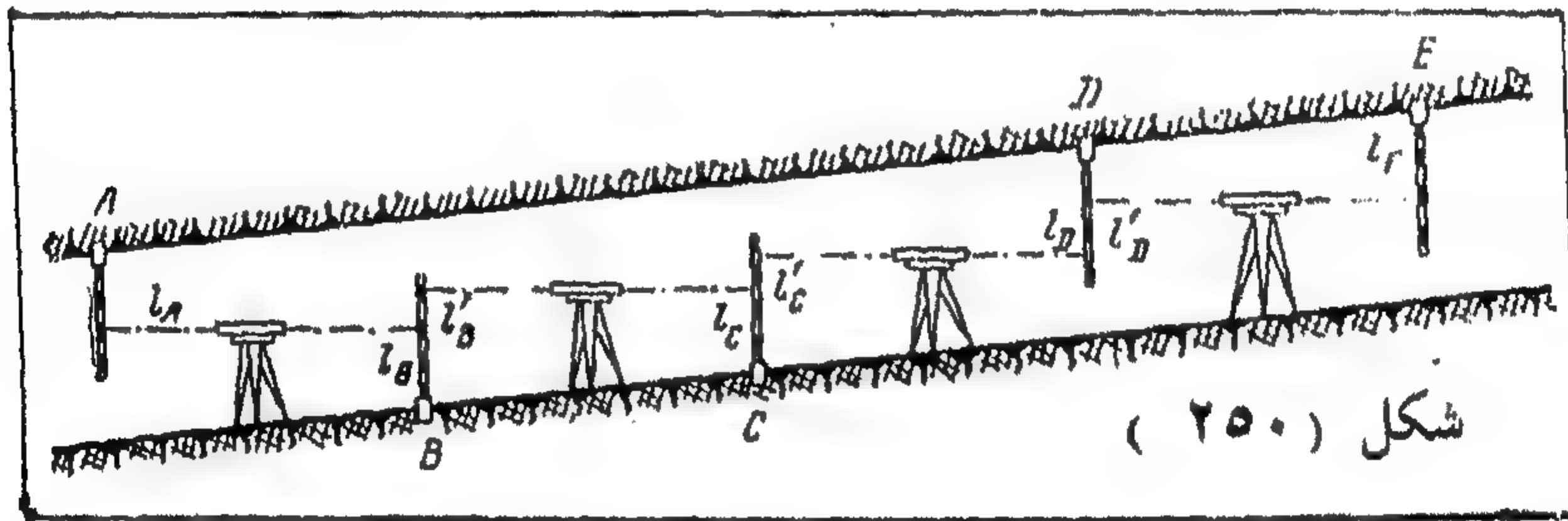


(٢٠٦) .....

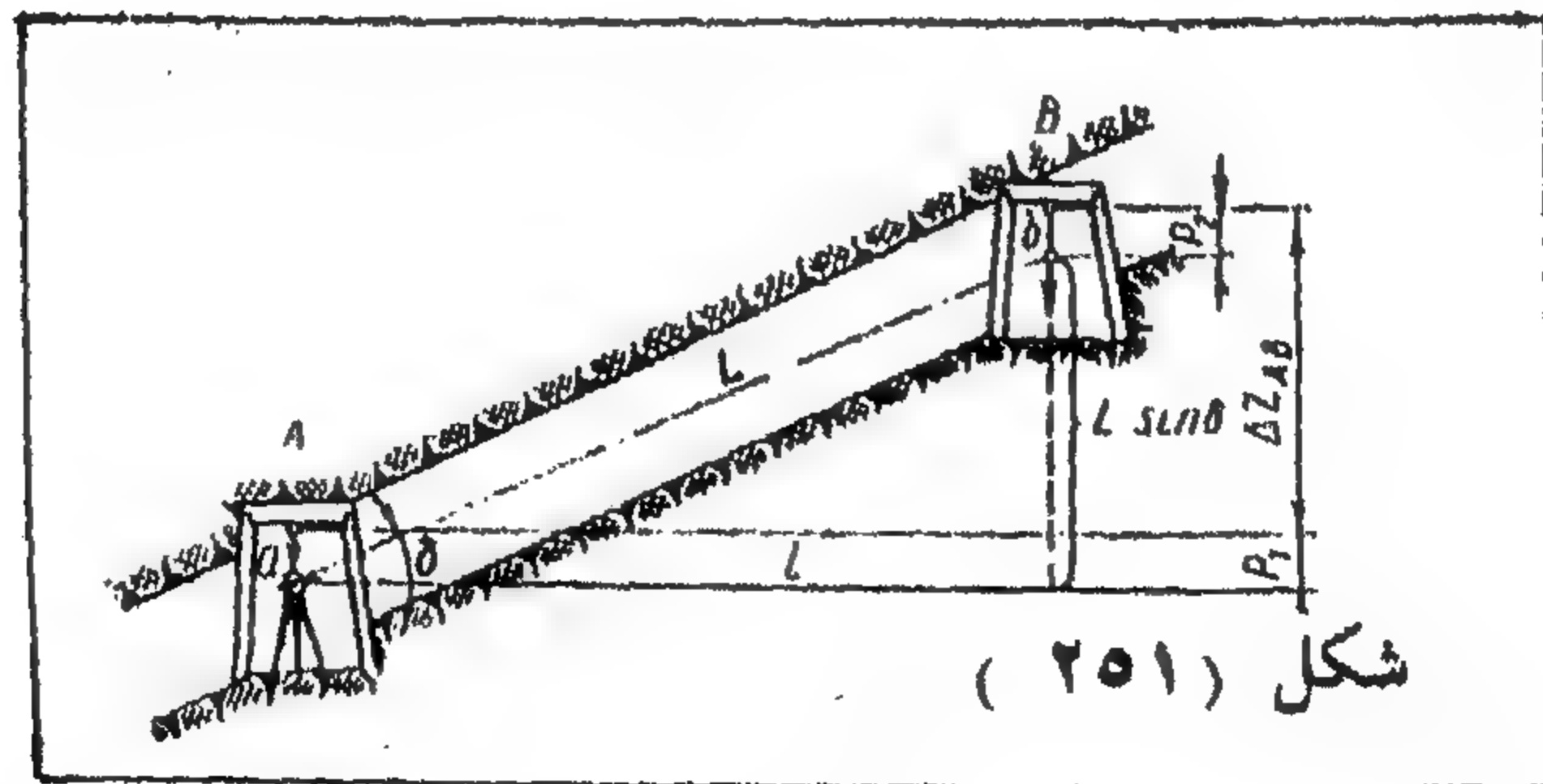
$$\frac{(L_2 - L_1)}{S} = \Delta L$$

و = وزن طول قدره  $(L_2 - L_1)$  من الشريط كجم + وزن  
الثقل المعلق بالشريط .  
س = مساحة مقطع الشريط .  
ي = معامل المرونة لمادة الشريط .

بعد الحصول على منسوب أولى النقط داخل النفق تسلسل ميزانية طولية  
على طول محوره وذلك إذا كان النفق أفقياً أو يميل ميلاً بسيطاً وبذلك يمكن  
الحصول على مناسيب نقطه المختلفة سواء كانت مناسيب أرضيته أو مناسيب  
سقفه كما هو مبين في شكل (٢٥٠) . أما إذا كان محور النفق يميل ميلاً كبيراً



فإنه في هذه الحالة يمكن استخدام طريقة الظلال لإستنتاج المنسوب كما هو  
موضح في شكل (٢٥١) .









ف = ل + العمق الرأسى من منتصف العاكس وحتى سطح المرآة الأفقية العاكسة .

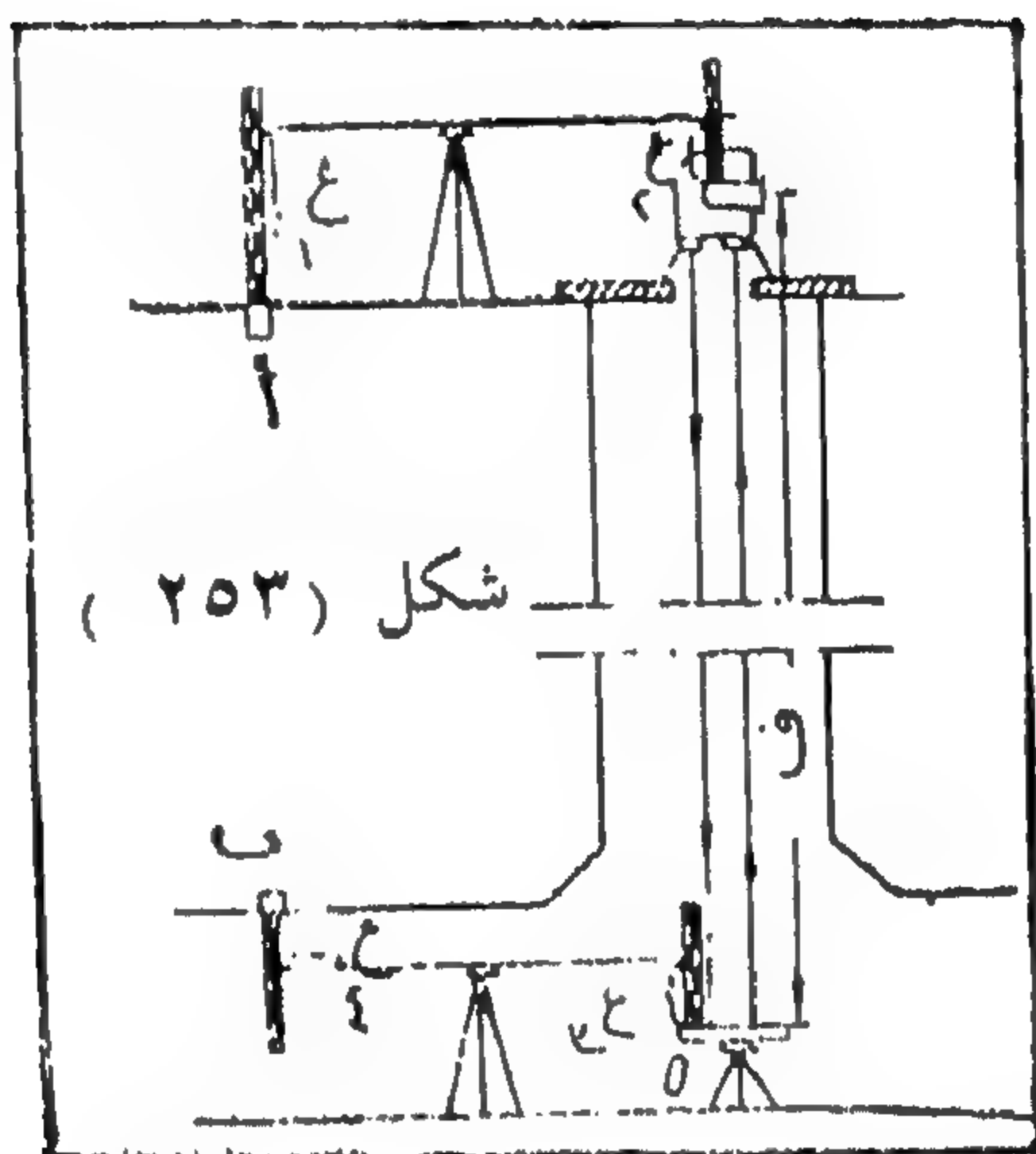
ثم بإستخدام الميزان الموجود على سطح الأرض نأخذ قراءتين الأولى ع<sub>١</sub> على القامة وهى موضوعة على النقطة الثابتة ( أ ) والثانية ع<sub>٢</sub> على القامة وهى موضوعة عند محور دوران الجهاز الأفقى . ثم بإستخدام الميزان الموجود داخل النفق نأخذ القراءة ع<sub>٣</sub> على القامة الموضوعة فوق المرآة الأفقية العاكسة أسفل البئر والثانية ع<sub>٤</sub> على القامة الموضوعة فوق علامة الميزانية ( ب ) داخل النفق . وهذا يكون منسوب علامة الميزانية ( ب ) داخل النفق هو :

$$\text{منسوب ( ب )} = \text{منسوب ( أ )} + ( \text{ع}_١ - \text{ع}_٢ ) - ( \text{ف} - \text{ل} ) + ( \text{ع}_٣ + \text{ع}_٤ ) \quad \dots (٢٠٧)$$

والواقع أنه يمكن إيجاد عمق البئر مباشرة بالجهاز الكهروضوئى دون إستخدام المنشور العاكس وذلك بوضع الجهاز مباشرة أعلى البئر موجهاً إلى أسفل وإن كان يلزم فى هذه الحالة حامل خاص للجهاز لإستيفاء هذا الغرض كما هو موضح فى شكل (٢٥٣) . وهذا تكون المسافة المقاسة بالجهاز الكهروضوئى هى العمق الرأسى للبئر من محور الجهاز وحتى سطح المرآة الأفقية العاكسة وعليه يكون منسوب نقطة ( ب ) مساوياً :

$$\text{منسوب ( ب )} = \text{منسوب ( أ )} + ( \text{ع}_١ - \text{ع}_٢ ) - \text{ف} + ( \text{ع}_٣ + \text{ع}_٤ ) \quad \dots (٢٠٨)$$







**القسم السادس**  
**التطبيقات الدقيقة للمساحة**  
**في الهندسة المدنية**







## الباب الرابع والعشرون حساب تحركات المنشآت

### الطرق المساحية لضبط تحركات المنشآت

إن التقدم العلمى المستمر فى علم ميكانيكا التربة أعطانا الإمكانيات والطرق التى نستطيع بواسطتها التنبؤ بمقدار ما سيحدث للمنشأ من تحركات مع الزمن وذلك بعد دراسة نوع التربة ونوع المنشأ وتوزيع الأحمال على التربة . ومن هنا تظهر أهمية عمل متابعة لهذه التحركات . فإذا استمرت ، كما هو متنبأ به ، كان ذلك طبيعياً وإلا فيجب أن يدرس السبب فى عدم مطابقة التحرك لما هو متوقع . وبالتحديد السبب يمكن تحديد طريقة العلاج .

ويعتبر عنصر الوقت عند معرفة هذا الاختلاف بين التحرك المتوقع والتحرك الناتج مهماً جداً حيث أن أى تأخير قد يساعد فى حدوث مضاعفات نحن فى غنى عنها فقد تصيب المنشأ بالانهيار ومن هنا تظهر أهمية المتابعة المنتظمة والمستمرة .

ومتابعة التحركات للمنشآت هو أحد تخصصات المساحة التطبيقية الهامة ، فقياس الهبوط والانحراف والميل تتطلب طرق مساحية عالية الدقة فى أعطائها للنتائج وهذه توجب خبرة فى المهندس الذى يقوم بالقياس . ولكى تكون نتائج القياس مقبولة لابد من توافر بعض الاشتراطات حتى نحصل على أقرب قيمة للحقيقة . وهذه الاشتراطات يجب أن تتوفر فى الراصد وفى طريقة الرصد حتى نقلل من تأثير العوامل الخارجية على القياس بقدر الامكان .

ومتابعة التحركات تبدأ مع بداية إنشاء المنشأ وتستمر المتابعة حتى يصبح التحرك فى حدود ١ — ٢ مم فى السنة وهنا نستطيع القول بأن المبنى قد استقر .

أما أماكن وضع علامات الرصد وفترات القياس وطرقه فتحدد قبل بداية الإنشاء بعد دراسة العوامل المحيطة بالمشروع من نوع التربة وشكل الأساسات وكذلك المقادير المتوقعة للتحركات .



## أنواع التحركات :

تقسم التحركات إلى نوعين :

١ — تحركات رأسية .

٢ — تحركات أفقية .

### التحركات الرأسية للمنشآت

الواقع أن تحركات المنشآت في الإتجاه الرأسى قد تحدث نتيجة أسباب عدة

وهى :

#### أولاً — التحركات بسبب عوامل طبيعية :

وهو مقدار تحرك المنشأ الناتج بسبب تأثير ثقله أو أى قوى خارجية أخرى تؤثر على اتزانه مما يتسبب في إضافة قوى جديدة تؤثر على تغيير ترتيب حبيبات التربة الحاملة ويحدث التحرك . ويمكن تقسيم هذه التحركات إلى الأنواع الآتية :

##### ١ — الهبوط الرأسى :

وهو التحرك الرأسى للمنشأ تحت ثقله وقيمه تظهر أثناء الإنشاء وتأخذ في الزيادة باضطراب وتبلغ أكبر قيمة بعد الإنشاء مباشرة ثم تقل الزيادة في الهبوط حتى تحل فترة الراحة التى يكون فيها الهبوط غير ملموس وتختلف بداية هذه الفترة حسب طبيعة التربة من ١٠ إلى ٥٠ سنة تبعاً للعوامل المحيطة .

##### ٢ — الهبوط الرأسى غير المتساوى :

هو عبارة عن هبوط أجزاء من المنشأ بقيم غير متساوية — فمثلاً هبوط مجموعة قواعد أساسات مبنى بقيم أكبر أو أقل من قيم هبوط المنشأ أو هبوط خازوق بقيمة تختلف عن قيم باقي الخوازيق الحاملة للمبنى — وفي هذه الحالات قد يحدث تشرخ في أجزاء المبنى إذا كانت قيمة الاختلاف في الهبوط كبيرة ولم يستطيع المبنى تحمل وإمتصاص القوى التى تنتج من وجود هذا الفرق .

##### ٣ — الميل ناحية أحد الجوانب :

إذا كان المبنى صلباً ومتناسكاً واختلفت تأثير القوى على الأرضية الحاملة له



وكان التأثير من ناحية أكبر من الناحية الأخرى أو يختلف نوع التربة من ناحية عن الأخرى ففي هذه الحالة يحدث ميل للمبنى ناحية القوى الأكبر أو ناحية التربة الأضعف . والميل في هذه الحالة يأخذ شكلاً مستقيماً مائلاً .

#### ٤ — التواء المنشأ أو اعوجاجه :

وهو ما يحدث للمنشآت التي يكون تماسكها كبير نسبياً عندما يختلف الهبوط لأساساتها فيحدث أن يلتوى المنشأ ولكنه يظل متماسكاً لقوة ترابطة بعض والإلتواء عادة يكون بشكل منحني إنسيابي .

#### ٥ — المنحى المنشأ أو انثنائه :

وهو عبارة عن التواء أو اعوجاج للمنشأ ولكن بشكل حاد غير متناسق .

#### ٦ — الشروخ :

وهو ما يحدث عندما ينقسم المنشأ إلى قسمين أو أكثر بسبب إنتهاء قدرة بعض أجزاء المبنى على التماسك بعد حدوث هبوط غير متساوى لم تستطع قوة تماسك المبنى على التغلب عليها .

#### ثانياً — التحركات بسبب عوامل مفاجئة :

وهو التحرك الذى يحدث للمنشأ بسبب تحركات أرضية مفاجئة مثل الزلازل والهزات الأرضية وتحركات القشرة الأرضية وهذه القوى لا تؤخذ في الحسابات العادية عند تصميم المنشأ إلا إذا كان حدوثها متوقعاً .

#### الطرق المساحية لقياس التحركات الرأسية للمنشآت المدنية

تعتمد إختيار طريقة قياس التحركات على عدة عوامل منها نوع المنشأ نفسه والإمكانات المتاحة ثم الدقة المطلوبة ويمكن تلخيص طرق القياس فيما يلى :

#### ١ — الميزانية : ( بدرجاتها المختلفة الأولى والثانية والثالثة ) :

وتستعمل لقياس التحرك الرأسى — أى الهبوط — وذلك بوضع نقط على المنشأ ثم متابعتها وحساب مقدار الهبوط .



## ٢ — الميزانية الهيدروستاتيكية :

وهذه تستعمل لقياس التحرك الرأسى لمنسوب نقطة ثابتة فى مجال مقفول ومحدود وقد تطورت هذه الأجهزة للدرجة أنها تعطينا حتى الرقم العشرى الثانى من المليمتر ( وقد سبق شرح نظرية هذه الطريقة فى المؤلف الثانى من هذه الموسوعة ) .

٣ — طرق التصوير الأرضية ( الفوتوجرامترى أو الأستريوفوتوجرامترى ) :  
وذلك بأخذ صور من أماكن ثابتة للمنشأ فى فترات زمنية مختلفة ثم تحديد التحرك بمقارنة الصور الناتجة .

## ٤ — طرق القياس بالأجهزة الالكترونية :

## ٥ — طرق القياس بأجهزة خاصة :

وهذه صممت خصيصاً لقياس التحركات مثل طريقة العوامة الرأسية والكلينومتر والتليمتر والميكروكرينومتر وغيرها ...

## طريقة قياس الهبوط بواسطة الميزانية

وتعتبر هذه الطريقة من أهم طرق قياس الهبوط وأوسعهم إنتشاراً وتستعمل عادة ميزانية الدرجة الثالثة — ويمكن إستعمال هذه الطريقة فى قياس هبوط المنشآت إذا كان معدل هبوطها حوالى ٥ مم شهرياً ويتم العمل بهذه الطريقة بمقارنة مناسب نقط الهبوط على المنشأ بمنسوب رويير ثابت .

وتتم مراحل عمل الميزانية بالخطوات الآتية :

١ — توزيع علامات الهبوط على المنشأ بحيث تعطى صورة معبرة عن هبوطه .

٢ — إختيار أجهزة القياس المساحية .

٣ — عمل الميزانية من الرويير إلى علامات الهبوط .

٤ — يكمل عمل المكتب للميزانية وترسم خطوط بيانية تظهر مقادير الهبوط المختلفة .



٥ - بعد تكرار عمل الميزانية عدة مرات وملاحظة النقط يستمر تكرار عمل الميزانية ولكن على النقط التى يظهر فيها الهبوط ملحوظاً .

### العلامات المساحية التى تستعمل فى قياس هبوط المنشآت

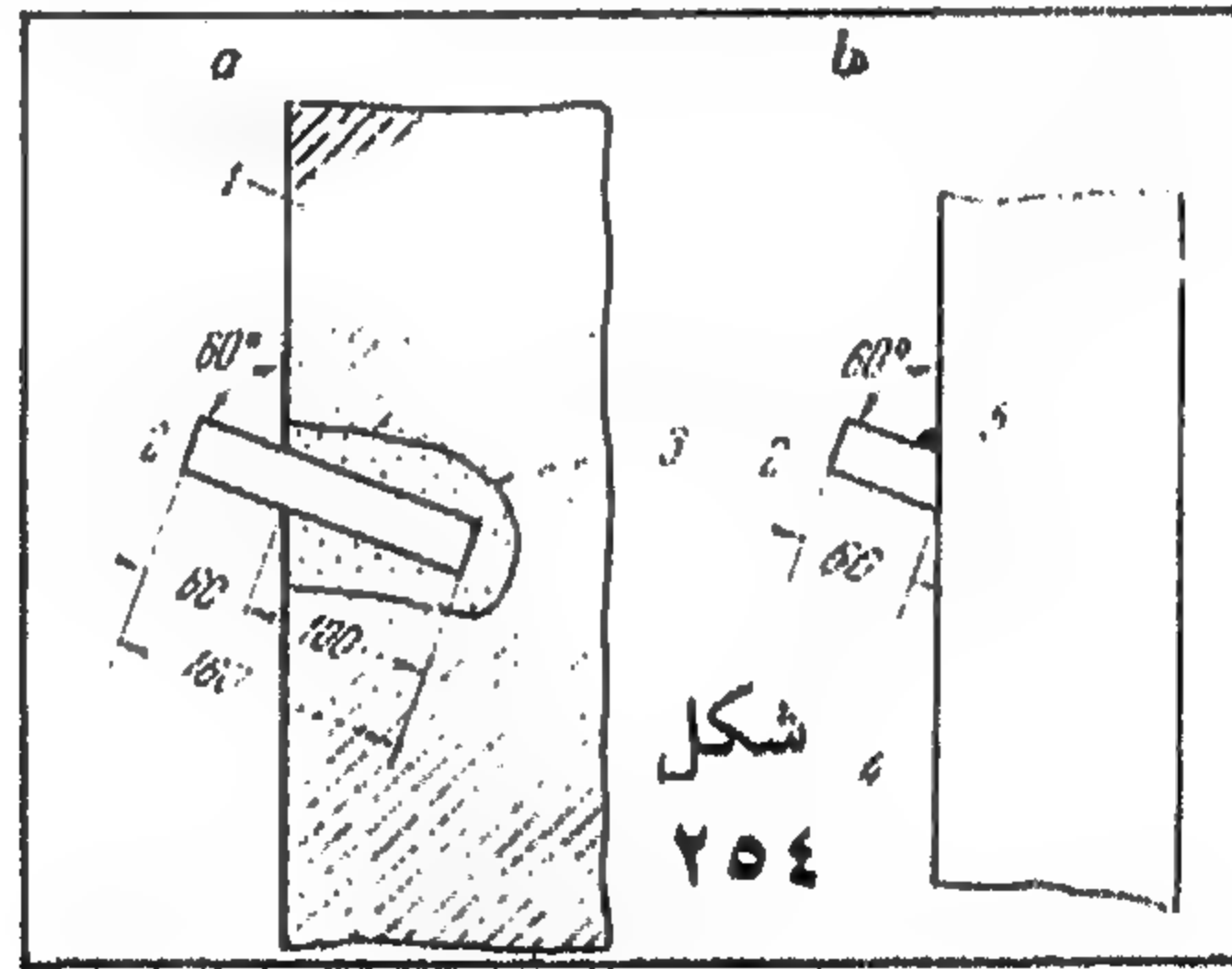
عند قياس قيمة تحرك مبنى سواء للمتابعة أو لعمل بحث علمى على مقدار تحركه تعتمد طريقة القياس على عدة عوامل أهمها :

الغرض من معرفة قيمة التحرك وكذلك الطبيعة الجيولوجية للتربة ومنسوب المياه الجوفية ولذلك فتستعمل العلامات الآتية :

### أولاً - الروبيرات :

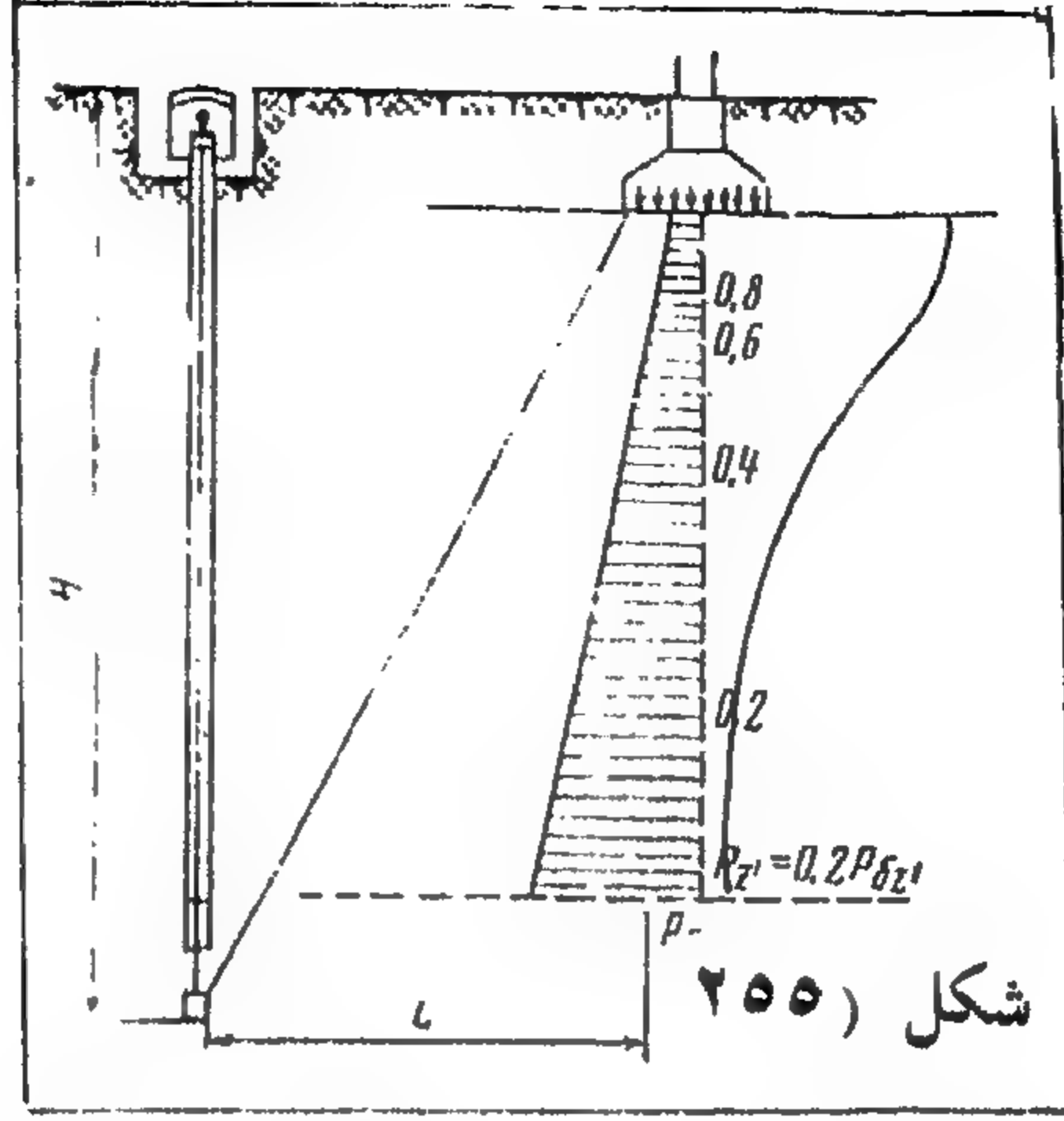
وتستعمل الروبيرات الحكومية سواء كانت حائطية أو عميقة مادامت قريبة من المنشأ المراد حساب قيمة هبوطه . أما إذا لم تتواجد روبيرات قريبة فتنشأ روبيرات خاصة ويفترض لها منسوب اسمى للرجوع إليه ويلاحظ فى الروبيرات المنشأة أن تكون بعيدة عن تأثير أى قوى خارجية قد تؤثر على ثبات منسوب الروبير والتربة التى تحته .

والروبيرات التى لا تؤثر عليها قوى خارجية قد تكون حائطية بأن يثبت خابور أو مسمار أو قطاع معدنى ( شكل ٢٥٤ ) فى حائط متين يكون قد



وصل مقدار هبوطه إلى فترة الاستقرار ( الراحة ) . أو روبيرات عميقة تصل حتى المنطقة التى لا تؤثر فيها أى قوى خارجية ( أى يكون الضغط فى التربة نتيجة أوزان المنشأ أقل ما يمكن ) كما فى شكل (٢٥٥) .





أما أشكال الروبيرات العميقة فهي تختلف حسب نوع التربة وكذلك العمق الذى من المفروض أن تصل إليه . وشكل (٢٥٦) يبين قطاعاً طولياً فى أحد أنواع الروبيرات العميقة يبين التفاصيل الكاملة له والأبعاد الخاصة بأجزائه المختلفة .

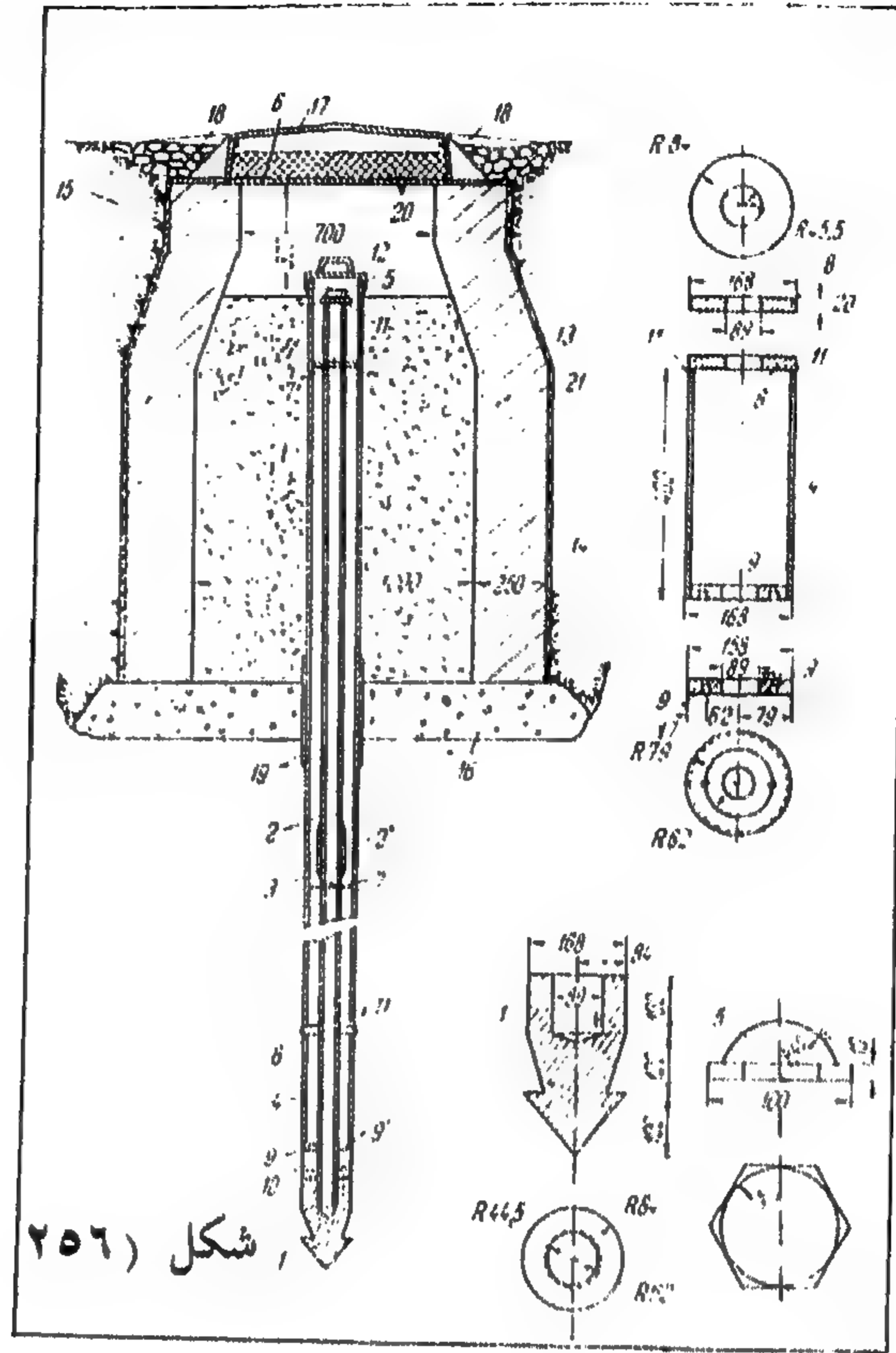
وعموماً تتكون الروبيرات العميقة من ماسورة تدق فى الأرض حتى تصل إلى العمق المطلوب ولضمان حمايتها تحاط من الخارج بماسورة أوسع منها تدق أولاً وتثبت من أعلى بالخرسانة ثم يملأ الفراغ بين الماسورتين بواسطة البيتومين . ولكل نوع تربة يتم تصميم الروبير العميق المناسب لطبيعة طبقات الأرض .

وفى بعض الأحيان وللأعمال المتناهية الدقة ولضمان عدم تأثير المنسوب بتغير درجة الحرارة فتدق ماسورتان من مادتين مختلفتين ( مثل النحاس والنيكل ) ويصل بين نهايتى طرفاهما العلوى بمقياس مدرج بقياس فرق تمدد الماسورتين ويؤخذ مقدار الفرق بين التمدد فى الماسورتين فى الاعتبار عند حساب منسوب الروبير .

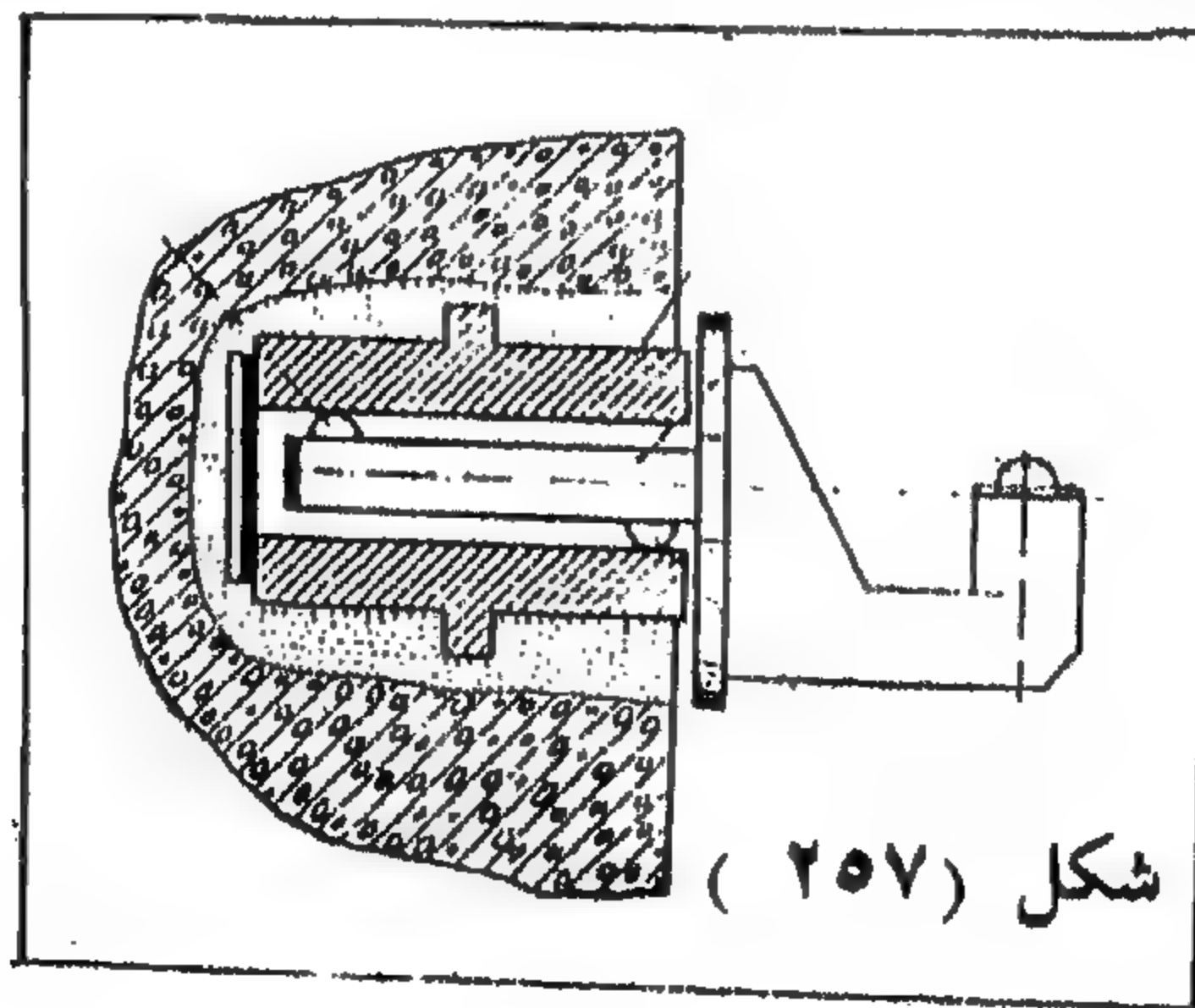
### ثانياً - علامات الهبوط على المنشأ :

توضع علامات الهبوط على جوانب المنشأ المختلفة وفى الأماكن المنتظر أن يكون الهبوط فيها ملموساً . وهذه العلامات تتكون من مسامير سمكية ذات رؤوس مستديرة من الصلب أو علامات خاصة تثبت فى جدار كالمبينة فى



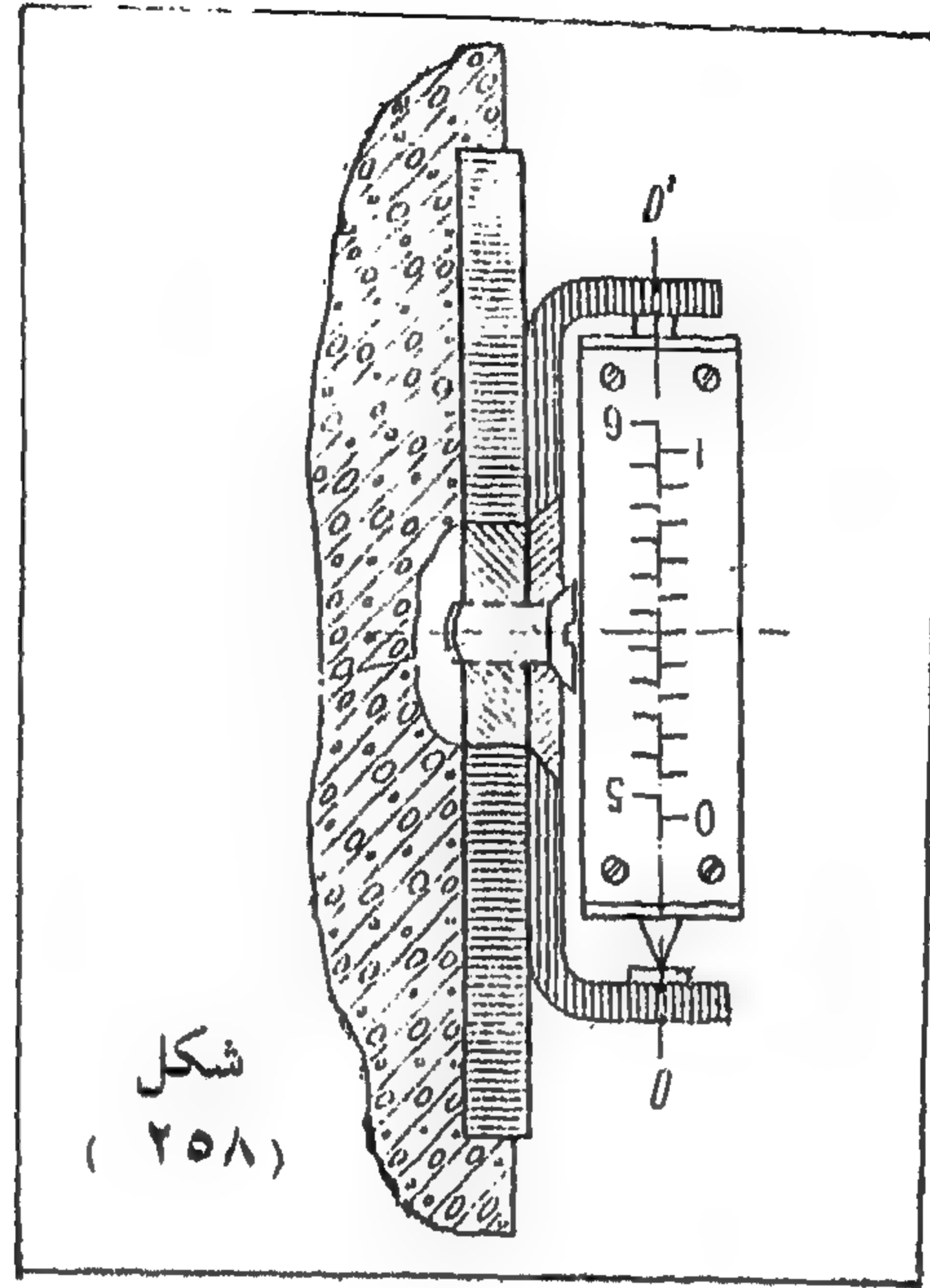


شكل (٢٥٧) . ويستحسن أن تكون من النوع الذى لا يصدأ وتكون هذه  
العلامات ظاهرة خارج المبنى . أو قد تكون العلامة عبارة عن جزء من زاوية  
توضع بميل ٥٦٠ كما فى شكل (٢٥٤) ولى بعض الأحيان تكون العلامة عبارة

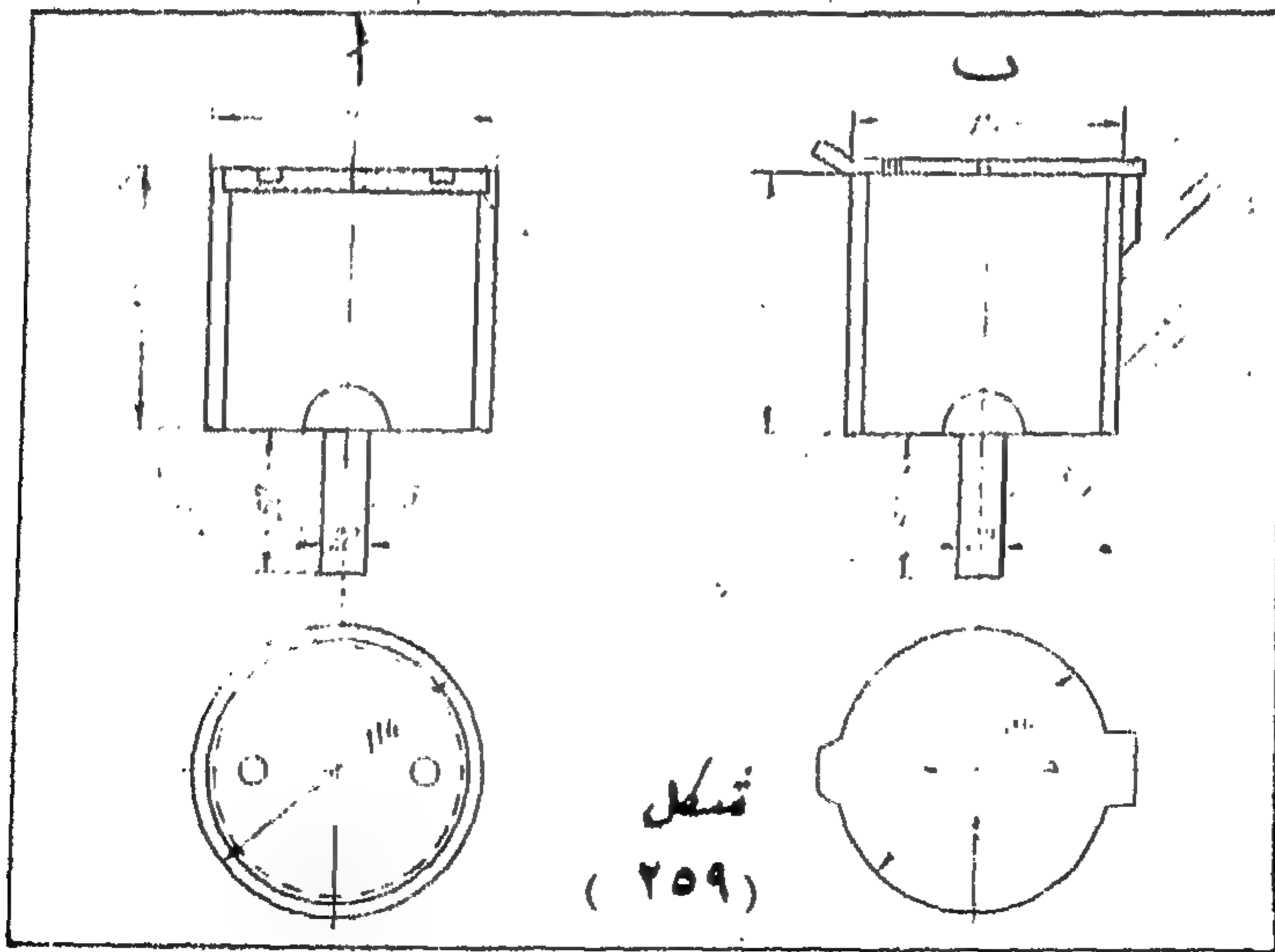




عن مسطرة مدرجة صغيرة مثبتة في الجدار بطريقة خاصة كما هو موضح في شكل (٢٥٨) .



أما في شكل (٢٥٩ أ، ب) فيبين علامتين أرضيتين لهما غطاء يحفظهما ويمكن فتحه عند استعمال العلامة .





أما بالنسبة للقامات فتكون عادة عبارة عن مسطرة صغيرة مدرجة من الصلب أو النيكل طولها حوالى ١٥ - ٢٠ سم وتقسم إلى ملليمترات وتعلق على العلامة ولزيادة الاحتياط تدرج من طرفيها الطولين بتدرجين مختلفين في البدايات كما في شكل (٢٥٨) وتؤخذ القراءتان وتحسب فروق المناسب لكل قراءة على حدة . وفى حالة توافق النتائج للناحيتين يكون دليل على أن العمل سليم .

وفى جميع أنواع الروبيرات السابقة يجب المحافظة عليها من الصدمات التى قد تغير مكانها أو تتسبب فى انحرافها عن مكانها الموضوعه فيه وذلك بوضع صندوق أو غطاء لا يرفعه إلا المهندس عند القياس .

### أجهزة قياس الهبوط بالميزانية

لقياس الهبوط بالميزانية يمكن إستعمال الموازين التى تعطى ما تتطلبه ميزانية الدرجة الثالثة من دقة ويمكن تلخيص خواص هذه الموازين فيما يلى :

أن تكون قوة التكبير للجهاز من ٣٠ إلى ٣٥ مرة وتكون أقسام ميزان التسوية تعطى دقة من ١٢ " - ١٣ " فى كل قسم مقداره ٢ مم وبهذا فيمكن استعمال موازين زايس Ni - 400 أو Koni - 007 أما Ni - 30 فيمكن استعماله مع قرص التوازى ، وكذلك من موازين شركة كيرن يمكن استعمال GK 23 .

أما بالنسبة للقامات فيمكن إستعمال القامات الدقيقة بأنواعها بأطوال متر أو اثنين أو ثلاثة ويجب أن تكون القامة مقسمة من الوجهين بتدرجين بداياتهما مختلفة أو قد يكون التدرجين من ناحية واحدة كما فى قامات الأنفار . وقد تستعمل قامات خاصة ذو تدرج ملليمترى وبأطوال حوالى ٣٠ سم وذلك لتعليقها عند نقط الهبوط كالمبينة فى شكل (٢٥٨) أو لوضعها بعد تركيبها على قاعدة ذات ثلاث مسامير على نقط الهبوط .

### تنفيذ الميزانية

تنفذ الميزانية طبقاً لمواصفات الميزانية من الدرجة الثالثة . فمن الروبيرات الحكومية يبدأ تنفيذ الميزانية خلال مسارات تؤخذ فيها المسافة بين الجهاز والقامة على مسافات متساوية وقصيرة ( ٤ إلى ٣٠ متر ) ويجب أن يؤخذ فى



الاعتبار أن يكون خط النظر بعيداً عن الأرض وبعيداً عن الحوائط بما لا يقل عن ٥ سم وذلك لتقليل تأثير الانكسار وتنفيذ الميزانية في أى وقت نهاراً أو ليلاً وتمنع الميزانية فقط في حالات الرياح والعواصف الشديدة أو الحرارة الشديدة والأمطار .

ويكرر مسار الميزانية مرتان ويجب ألا يزيد فرق النتيجة عن ٣ مم وذلك في المرة الأولى عند إيجاد مناسب النقاط مع استعمال أحد الموازين العالية الدقة أما بعد ذلك — عند التكرار — فيجب أن تكون مسارات الميزانية مقفلة بمعنى أن يبدأ القياس عند روير معروف وينتهي عند روير آخر معروف .

أما في حالة وجود روير واحد فقط كمرجع فيجب أن تكون الميزانية مزدوجة أى من الروير حتى النقطة ثم العودة حتى الروير مرة أخرى .

وبعد الانتهاء من عمل الميزانية وعمل الحسابات الخاصة بها يجب أن تكون النتائج في حدود المسموح به طبقاً لميزانية الدرجة الثالثة — والمسموح به هو :

..... (٢٠٩)

$$\Delta = \pm \sqrt{h} \quad \text{الخطأ المسموح به } (\Delta)$$

حيث  $h$  = عدد وقفات الميزان في المسار .

$\Delta$  ، الخطأ بالمليمتر .

وعندما يكون الخطأ الناتج في حدود المسموح به فيعمل ضبط للمناسيب المستنتجة طبقاً لنظرية أقل مجموعة للمربعات ( راجع نظرية الأخطاء ) وفي حالة الأعمال العادية الدقة يمكن استعمال الطرق التقريبية لعمل ضبط للمناسيب المستنتجة وإستنتاج القيم الأكثر احتمالاً لها .

### توزيع علامات الهبوط على الكبارى

عند توزيع علامات الهبوط على أجزاء الكوبرى يجب الأخذ في الاعتبار أن تبين نتائج القياس التفاصيل كاملة لما يحدث في كل جزء من أجزاء الكوبرى .



ولذا فيجب دراسة أجزاء الكوبرى كل على حدة ويجب وضع ما لا يقل عن علامتين من علامات الهبوط على كل جزء من أجزائه فمثلاً على البلاطات وجوانبها ووسطها — ثم على الكمرات الحاملة ثم أخيراً على الدعامات .

ويراعى عند وضع الروبيرات أن لا يقل عددهم فى كل ناحية عن اثنين كما يجب أن يكون عدد مسارات الميزانية من الروبيرات حتى علامات الهبوط عدداً كافياً وحتى يمكن تلافى أخطاء الميزانية بقدر الإمكان مثل الخطأ الذى ينشأ من اختلاف أطوال خطوط النظر وغيره من الأخطاء .

### ضبط الهبوط فى المباني والمنشآت المدنية

تستعمل الميزانية الدقيقة بدرجاتها المختلفة ( أولى وثانية وثالثة ) فى ضبط الهبوط للمباني والمنشآت المدنية . وقد تستعمل الميزانية الهيدروستاتيكية أو طريقة التصوير الأرضية أو أى طريقة أخرى تصل بنا إلى الدقة المطلوبة .

وتستعمل طريقة الميزانية الدقيقة فى الحالات التى يطلب فيها حساب مقدار الهبوط بدقة عالية جداً وذلك للمباني الهامة والتى تقاس هبوطها كل ١ — ٣ شهور . ونحسب سرعة هبوط المبنى خصوصاً عند ظهور بعض الشروخ أو الميل . وكذلك يطلب رصد هبوط بعض المباني بهذه الطريقة فى فترة الانشاء وما بعد الانشاء مباشرة . أما بعد ذلك فيكون الهبوط عادة بضع المليمترات فى السنة .

ودقة قياس الهبوط وطريقة القياس تحدد بواسطة المكتب الفنى القائم بالتصميم والذى يقوم أيضاً بمتابعة تحركات المبنى .

ومما يجدر ملاحظته طبقاً للمواصفات فإن صفر طول خط النظر لا يعطينا الدرجة الكافية من الدقة المطلوبة حيث يصل خط النظر إلى طول حوالى ٢٥ متراً وحيث توجد مصادر خارجية كثيرة للأخطاء من إنكسارات وانعكاسات وغيرها . وبأخذ كل ذلك فى الاعتبار ونجد عند حساب الخطأ التريعى المتوسط فى الكيلومتر أنه كبير وأكبر من الدقة المطلوبة والتى تصل إلى جزء من عشرة من المليمتر .



ولتلافي هذا الخطأ المنتظر الكبير القيمة فيجب الأخذ في الاعتبار عند القياس الملاحظات الآتية :

١ — أن تكون القراءة على قامة دقيقة من الأنفار أو قامة صغيرة على شكل مسطرة مقسمة إلى ملليمترات وتكون من مادة الأنفار أيضاً ويستعمل مع الميزان جهاز قراءة كسور القامة .

٢ — أن تركيب العلامات في المبنى بحيث أن تكون ثابتة ومحمية ( وقد سبق شرح العلامات ) وبقدر الإمكان تكون كلها على مستوى واحد حتى تكون قراءات القامة في حدود تقسيمات معينة حتى يتلاشى بقدر الامكان خطأ تقسيم القامة .

٣ — أن يكون حول المبنى على الأقل روبرين عميقين ويستحسن أن يكونوا ثلاثة وذلك لربط مسارات الميزانية بهذه الروبيرات .

٤ — أطوال خط النظر تكون متساوية وتكون في الحدود من ٣ إلى ٢٥ متر وفي المتوسط من ١٠ إلى ١٥ متر .

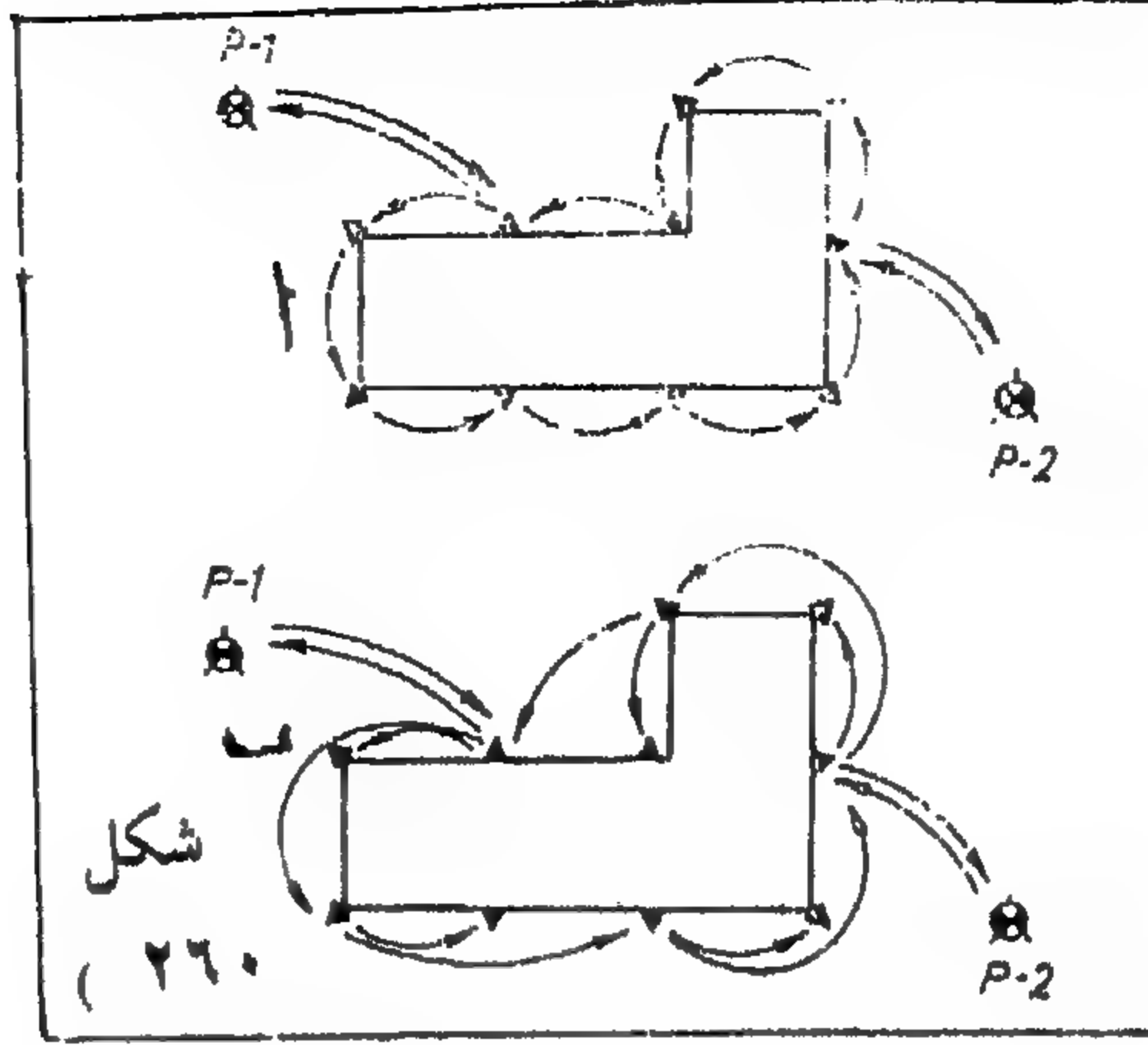
٥ — أن تؤخذ القراءة عدة مرات وتؤخذ القراءة المتوسطة .

٦ — يضبط الجهاز ضبطاً دائماً قبل عمل الميزانية .

٧ — تعمل الميزانية في مسار مقفل أو تعمل مرتان بجهازين مختلفين ويجب ألا يزيد الفرق بين النتيجةين عن  $( \pm 0,3 \sqrt{h} \text{ م} )$  حيث  $h$  عدد الوقفات .

في شكل (٢٦٠) مبين مسار ميزانية بين علامات الهبوط على أحد المنشآت . ففي الشكل الأول ( أ ) مبين أنه قد أخذت الميزانية بين النقط على عشر وقفات للميزان وبدا فيكون الخطأ المحتمل من نتائج الميزانية بهذه الطريقة أكبر بمقدار  $2\sqrt{h}$  مرة قيمة الخطأ المحتمل من نتائج الميزانية التي تؤخذ كما في الشكل ( ب ) حيث عملت نفس الميزانية ولكن استعملت خمس وقفات فقط .





وفي حالة ضياع إحدى علامات الهبوط — يجب وضع علامة أخرى بدلاً منها وفي نفس مكانها وترقيمها بنفس ترقيم العلامة الضائعة مع إضافة حرف (ح) أو (N) بمعنى علامة بنفس الرقم ولكن جديدة وعمل ضبط لمنسوبها الجديد ثم ربط كل النتائج السابق أخذها لهذه العلامة مع القيم الجديدة .

أما إذا طلب تكثيف عدد العلامات فتوضع العلامات الجديدة بين العلامات القديمة ويحسب قيم الهبوط السابقة للعلامات الجديدة بواسطة النسبة والتناسب لبعء العلامة الجديدة عن العلامات القديمة .

وبعد عمل الميزانية يجب عمل ضبط للقيم الناتجة بطريقة أقل مجموع للمربعات وذلك إذا كان الخطأ الناتج في حدود المسموح به ويجب تقييم النتائج التي تم الحصول عليها بإيجاد الأخطاء التربيعية في كل مرة قياس .

وللحصول على الدقة المطلوبة يجب ألا يزيد الخطأ المسموح به عن القيمة الآتية :

..... (٢١٠)

الخطأ المسموح به  $\pm 5 \sqrt{2} \sigma$



حيث :

- σ — الخطأ التريعى المتوسط للوقفة الواحدة ( للميزانية من الدرجة الأولى  
= ± ٠,١٢ مم وللميزانية من الدرجة الثانية = ± ٠,٤٣ مم ) .  
هـ — عدد محطات وقوف الميزان فى المسار بين الروير والآخر .

### الطرق المساحية لقياس التحركات الأفقية للمنشآت المدنية

فيما يلى سنشرح طرق قياس التحرك الأفقى للمنشآت المدنية مثل الخزانات والسدود سواء كانت خرسانية أو ركامية وطرق قياس التحرك الأفقى كثيرة ومختلفة ولكل طريقة خصائصها ومميزاتها ودقتها . ويمكن تقسيم هذه الطرق كالآتى :

- ١ — طريقة قياس التزحزح عن الخط الثابت .
- ٢ — طريقة الترافرسات .
- ٣ — طريقة المثلثات .
- ٤ — طريقة قياس التزحزح أو الميل بثبيت ثقل رأسى حر الحركة أو عوامات رأسية مثبتة فى أساس المنشأ .
- ٥ — الطرق المشتركة للقياس ( وذلك بإستخدام طريقتين أو أكثر ) .

وفى جميع هذه الطرق تقاس التحركات بالنسبة إلى بعض النقط الثابتة التى تعتبر كمرجع ثابت ينسب إليها تحركات النقط الأخرى . وهذه النقط الثابتة عادة تكون نقط مثلثات يكون موضعها خارج نطاق تأثير القوى فى المنطقة .

ويمر قياس التحرك الأفقى حتى الحصول على النتائج النهائية بأربع مراحل :

المرحلة الأولى نبدأ بوضع برنامج للعمل وإختيار الطريقة المناسبة ثم وضع النقط على المنشأ وتحديد مواعيد القياس الدورية . أما المرحلة الثانية فهى مرحلة القياس وفيها يتم تنفيذ البرنامج الموضوع فى المرحلة الأولى فيتم قياس التحركات بعد التأكد من ضبط وصلاحيّة الأجهزة .

أما المرحلة الثالثة فهى لضبط النتائج المقاسة فى المرحلة الثانية وعمل تقدير لدقتها وإستنتاج مقادير التحركات لكل فترة .

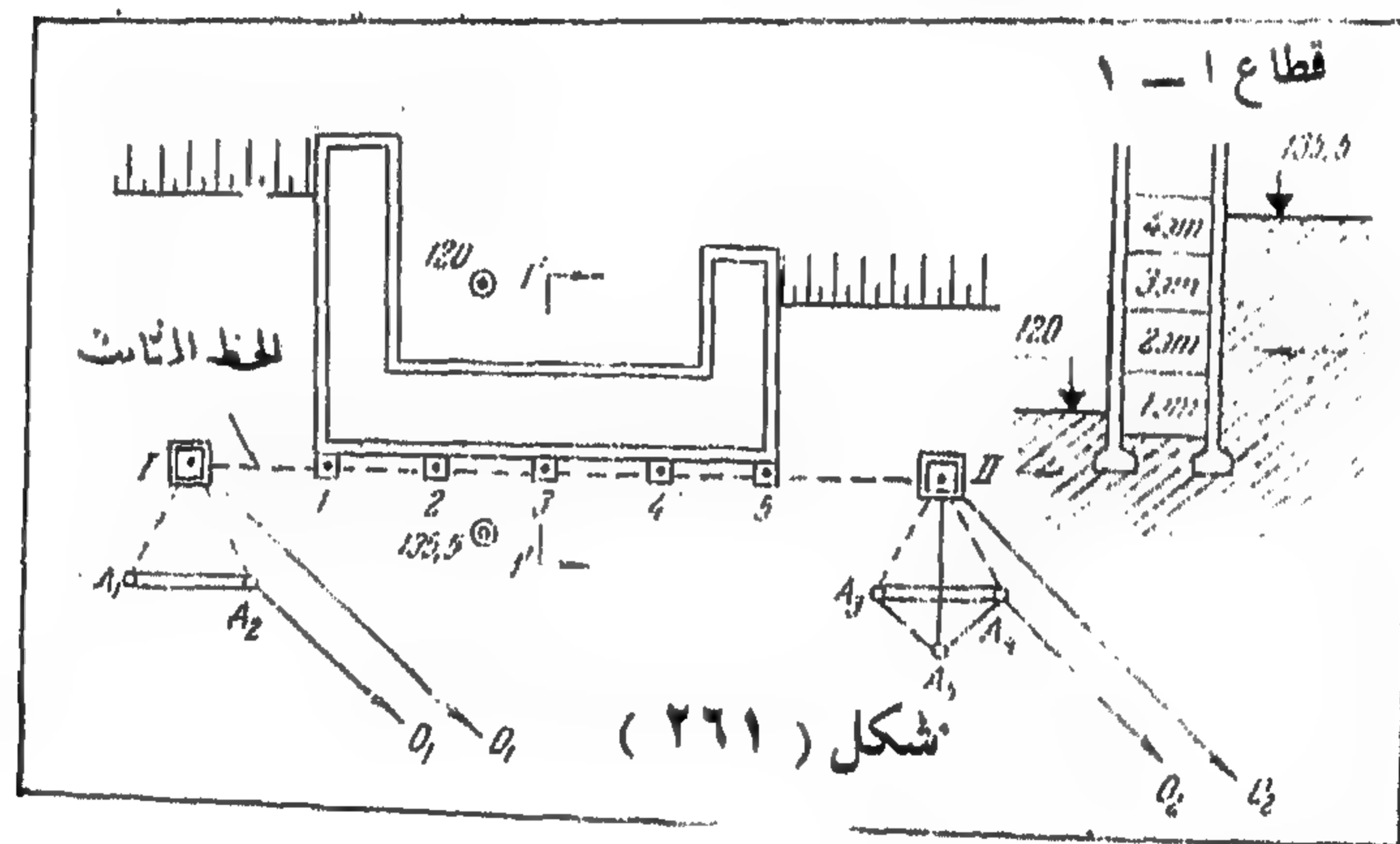


أما المرحلة الرابعة والأخيرة فهي لوضع الرسوم البيانية لنتائج التحركات والتي تبين مقاديرها واتجاهاتها ومواعيد أخذ القراءات .

### ١ — طريقة قياس التزحزح عن الخط الثابت

( The Allignment Method )

وتتلخص هذه الطريقة في وضع بعض نقط في الجزء المراد تحديد مقدار تحركاته الأفقية على خط مستقيم مع الأخذ في الاعتبار أن تكون مجموعة النقط واقعة بين نقطتين مثبتتين في مكان غير قابل للتحرك والخط الواصل بين هاتين النقطتين الثابتتين يعتبر كمرجع ثابت لتحرك النقط الأخرى كما هو مبين في شكل (٢٦١) والذي يبين منشأ معرض لضغوط جانبية تعرضه للحركة الأفقية لذلك وضعت العلامات ١ — ٢ — ٣ — ٤ — ٥ على جداره وعلى الخط الثابت الواصل بين النقطتين I ، II .



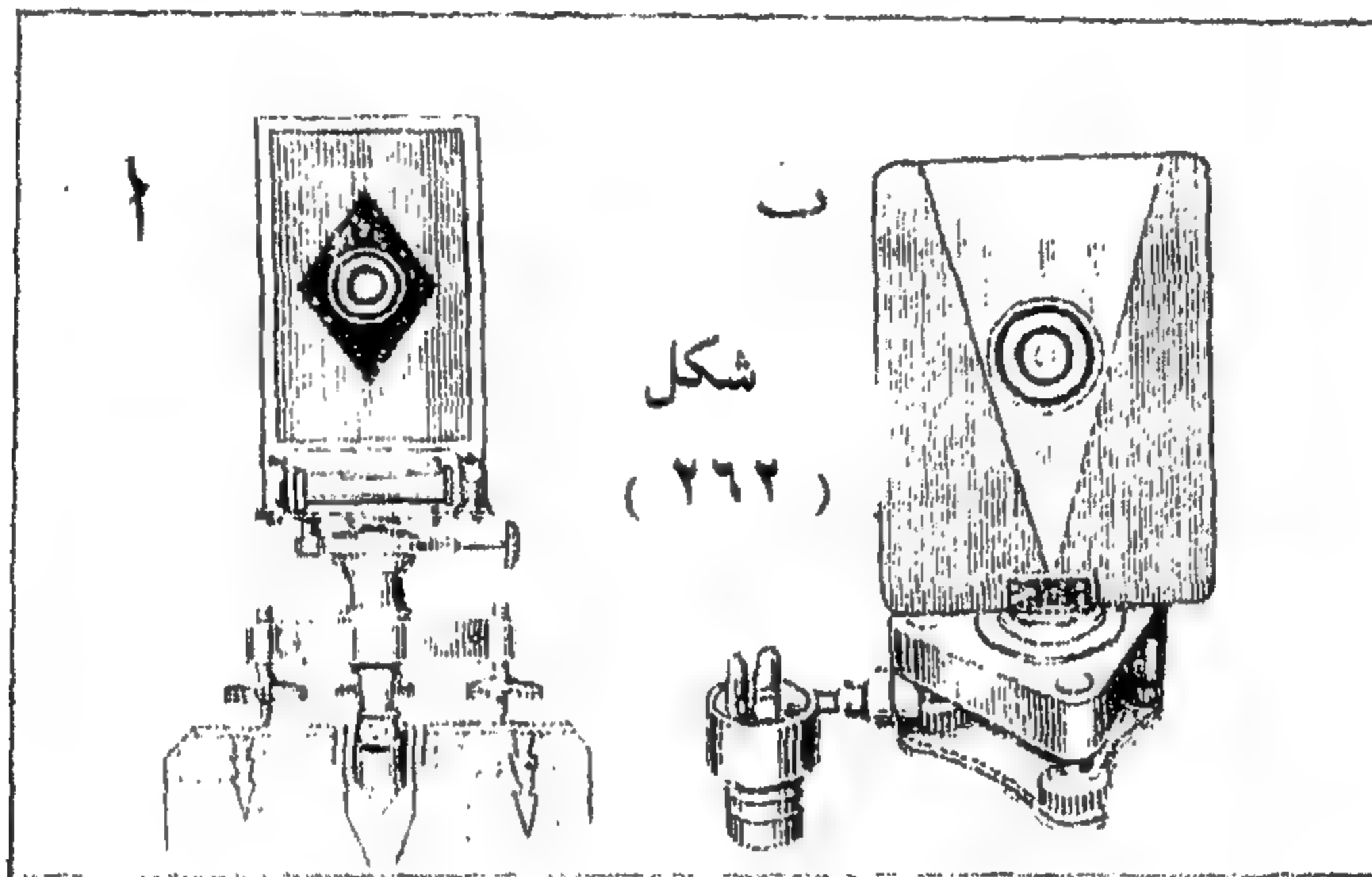
وعند القياس تقدر مسافة تحرك النقط المتوسطة العمودية على الخط الواصل بين النقطتين الثابتتين بواسطة ميكرومتر لأقرب جزء عشرين من المليمتر . لإجراء ذلك يوضع تيودوليت على إحدى النقطتين الثابتتين ولتكن I ويسامت ثم يوجه إلى العلامة الثابتة الموجودة على النقطة الثابتة الأخرى II ثم توضع علامات متحركة مثبت بها ميكرومتر لقياس مقدار التحرك على كل نقطة من النقط المتوسطة ١ — ٢ — ٣ — ٤ — ٥ فإذا وقعت العلامة المتحركة على خط نظر التيودوليت كان ذلك دلالة على عدم تحرك هذه النقطة أما إذا لم تقع



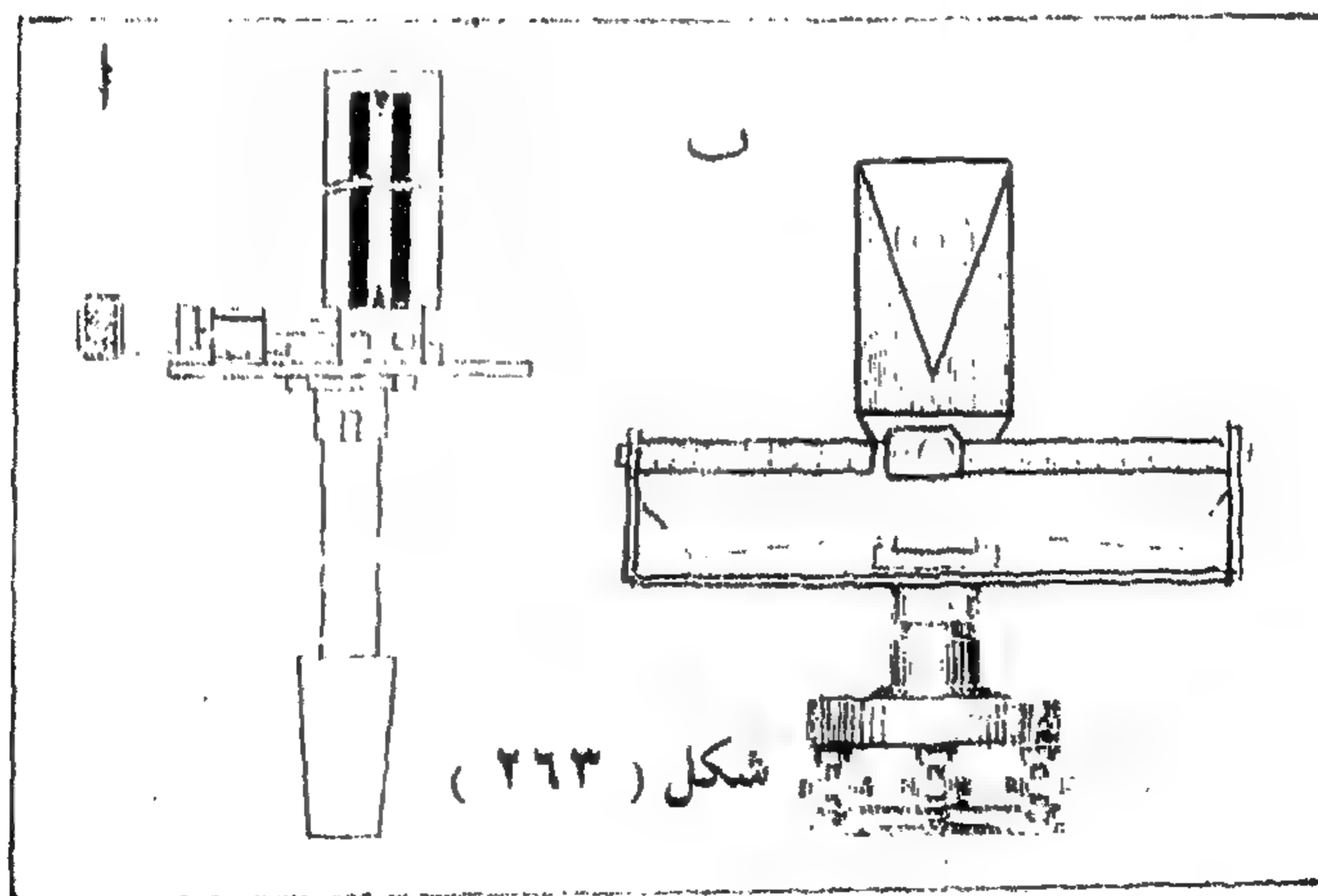
العلامة على الخط فيجب تحريك العلامة بواسطة الميكرومتر حتى تقطع خط النظر وتحدد المسافة التي تحركتها النقطة . ولزيادة الدقة يكرر القياس عدة مرات ويؤخذ المتوسط .

ويلاحظ في الشكل أنه قد أخذت نقط ثابتة أخرى مثل  $A_1$  ،  $A_2$  ،  $A_3$  ،  $A_4$  ، والفرض من ذلك هو التأكد في كل مرة من أن رصد النقط الثابتة الواقعة على خط الرصد I ، II لم تغير من أماكنها .

وهناك أنواع عديدة من العلامات الثابتة ومثالها موضح في شكل (٢٦٢)

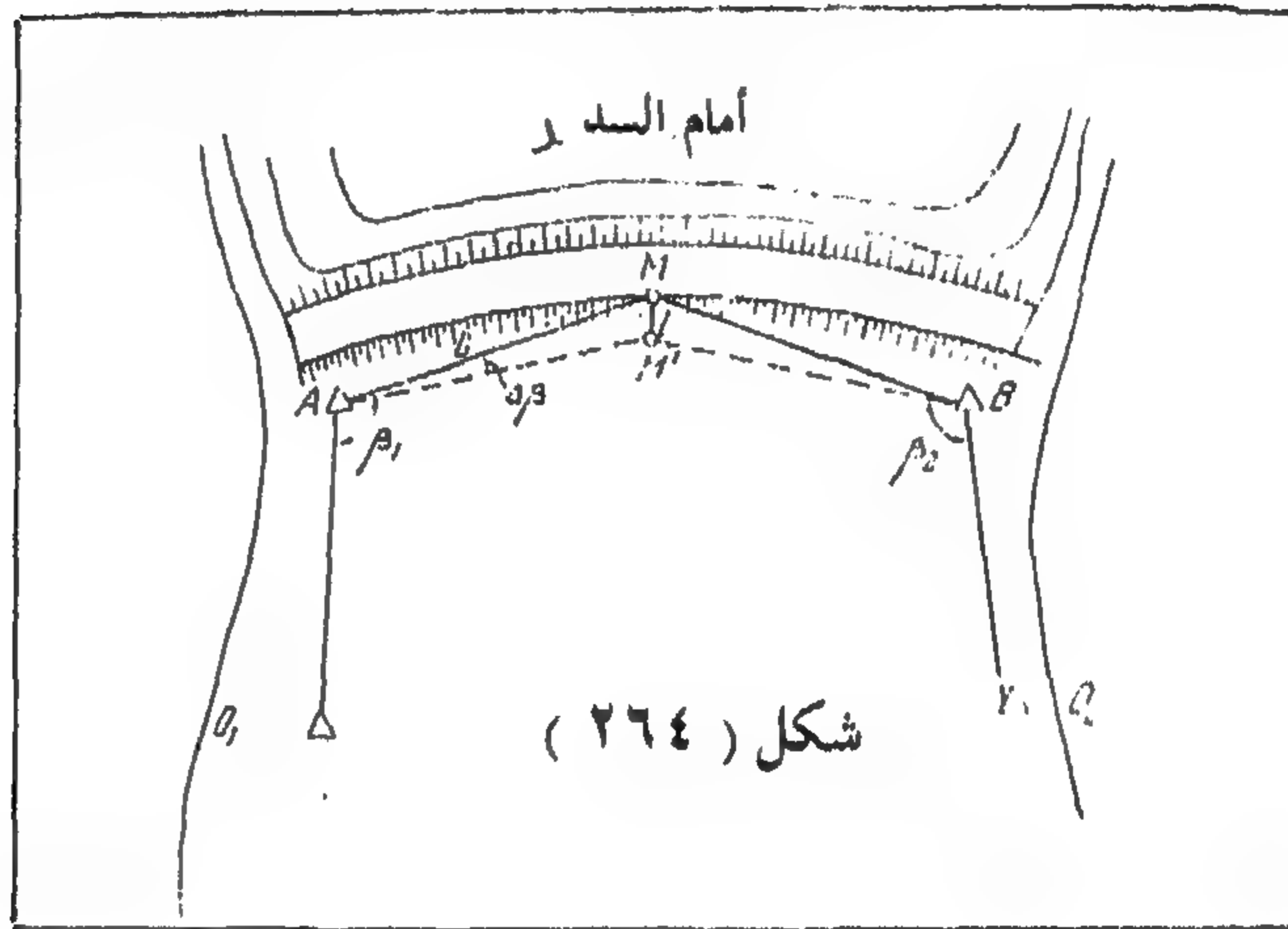


أما في الشكل (٢٦٣) فقد بينا نوعين من العلامات المتحركة التي تستعمل لرصد التحركات الأفقية ويلاحظ أنه مثبت بكل منهما ميكرومتر .





وفي بعض الأحيان عندما يكون التحرك الأفقى كبيراً نسبياً ( أى أكثر ) من ٣ - ٥ سم وذلك فى بعض المنشآت مثل السدود فيكون القياس خارج حدود العلامات المتحركة ولذا فتقاس دورها الزاويتين  $\beta_1$  ،  $\beta_2$  من الخطين الثابتين  $O_1 A$  ،  $O_2 B$  وذلك بوضع تيودوليتين فوق نقطتي  $A$  ،  $B$  شكل (٢٦٤) .



هاتان الزاويتان تعبران عن مقدار التزحزح الأفقى لنقطة  $M$  كما هو موضح فى الشكل . وبمعلومية التغير فى الزوايا  $\beta_1$  ،  $\beta_2$  أى الزاويتان  $\Delta \beta_1$  ،  $\Delta \beta_2$  الصغيرتان والبعد عن النقطة الثابتة  $A$  وحتى النقطة المتحركة  $M$  يمكن حساب التزحزح الأفقى من المعادلة الآتية :

$$\text{مقدار التزحزح} = \frac{L \cdot \Delta \beta}{\rho''} \quad \text{..... (٢١١)}$$

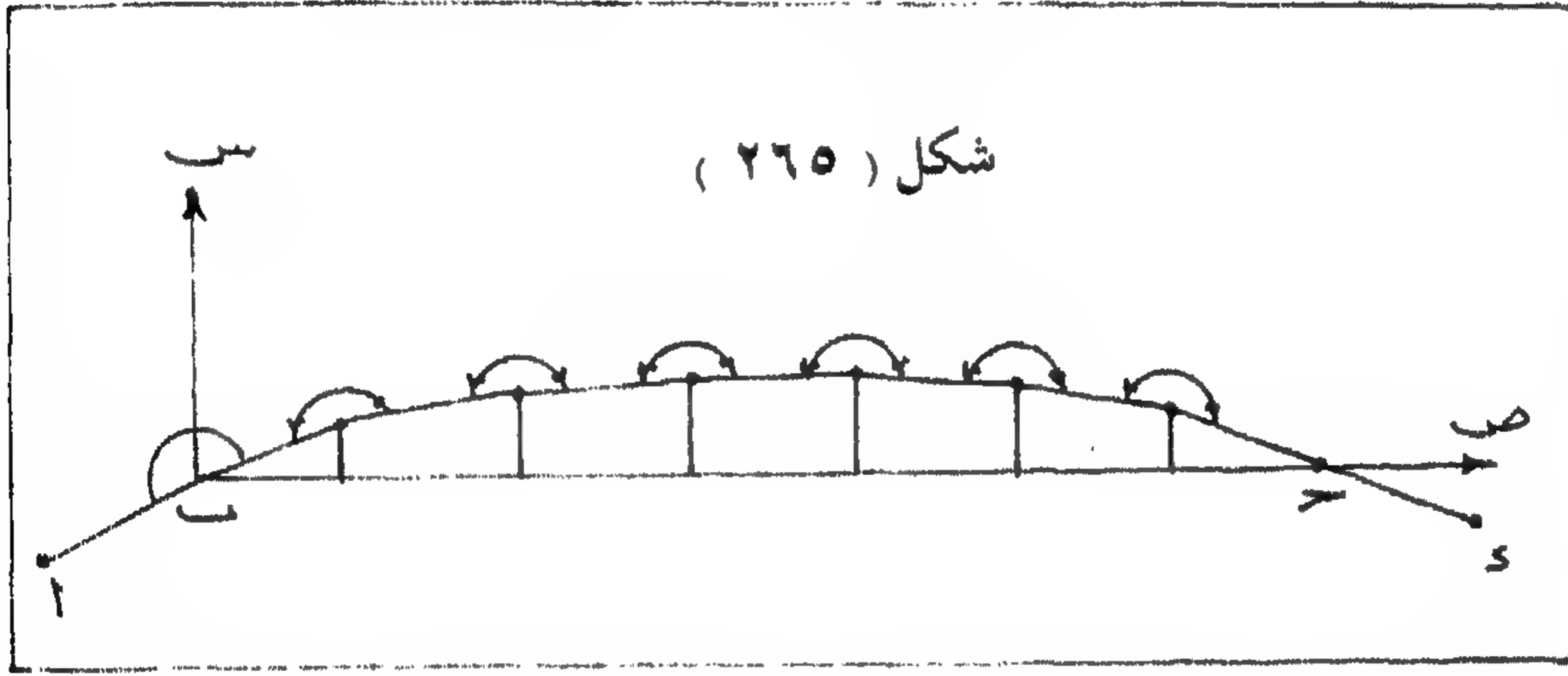
حيث  $L$  — المسافة بين نقطة التيودوليت والنقطة المتحركة .



## ٢ — طريقة قياس الترحزح بالترافرس

( Traverse Method )

وتتلخص هذه الطريقة في عمل ترافرس يربط بين النقط المطلوب معرفة مقدار تحركها ويربط هذا الترافرس بخطى قاعدة : الأول في بدايته والآخر في نهايته ثم تقاس الزوايا وأطوال الأضلاع في كل فترة وتحسب إحداثيات النقط في وضعها الجديد وبحساب فرق الإحداثيات عن الإحداثيات المبدئية يمكن معرفة مقدار وإتجاه التحرك . وفي شكل (٢٦٥) موضح كيفية القياس بهذه الطريقة .



ومما هو جدير بالذكر أن هذه الطريقة تستعمل في ضبط تحرك جسم السد العالي وذلك بعمل ثلاث ترافرسات طويلة تمر بجسم السد العالي خلال ثلاث أنفاق طويلة ( Gallaries ) تسمى بأنفاق التفتيش وتبعد كل نقطة عن الأخرى بحوالى أربعون متراً ويوجد في كل نفق طولى حوالى عشرون نقطة ترافرس . وأما خطوط القاعدة لهذه الترافرسات فموجودة على طرفى الأنفاق الطولية على الصخور الجانبية لمداخلها .

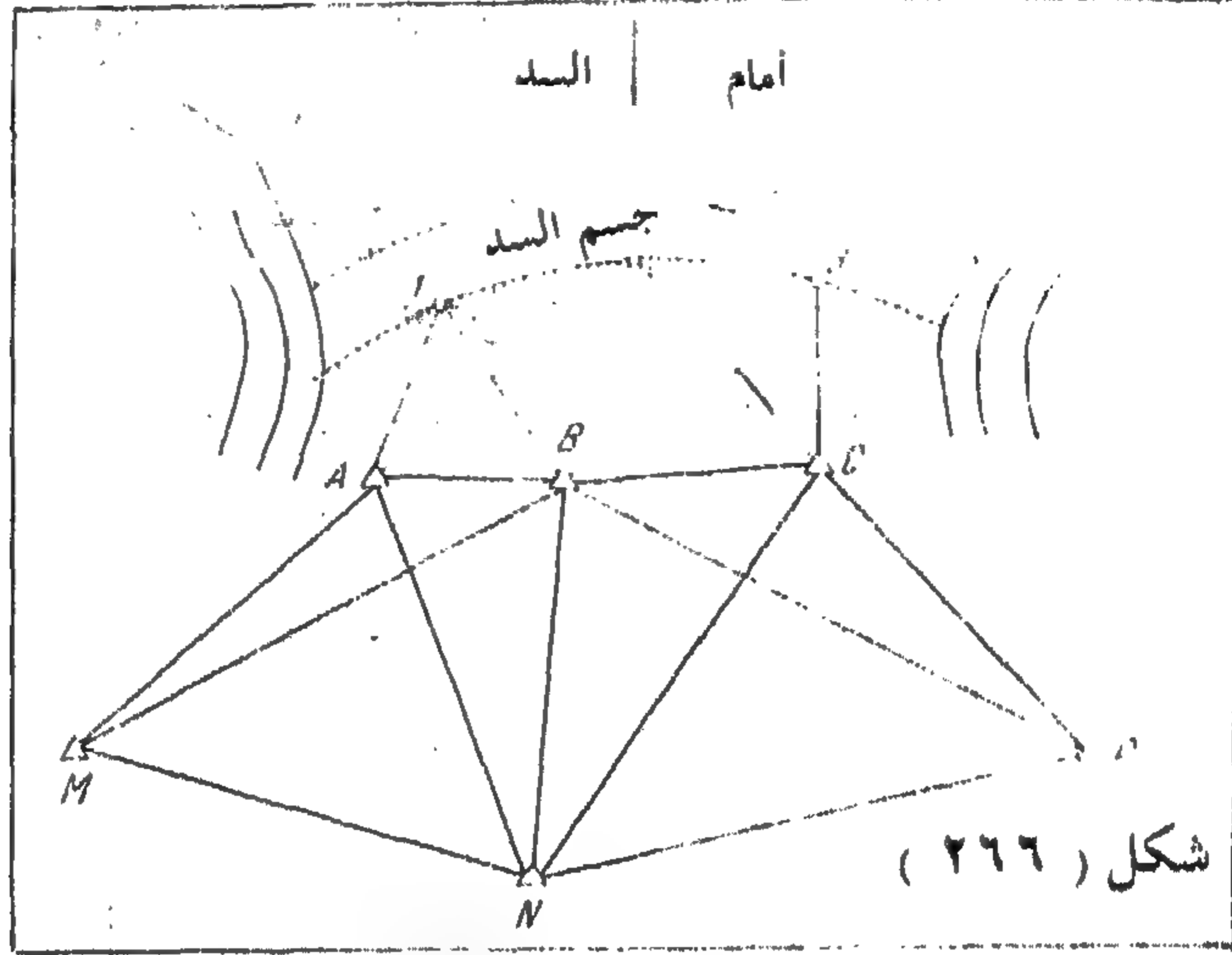
## ٣ — طريقة المثلثات

( Triangulation Method )

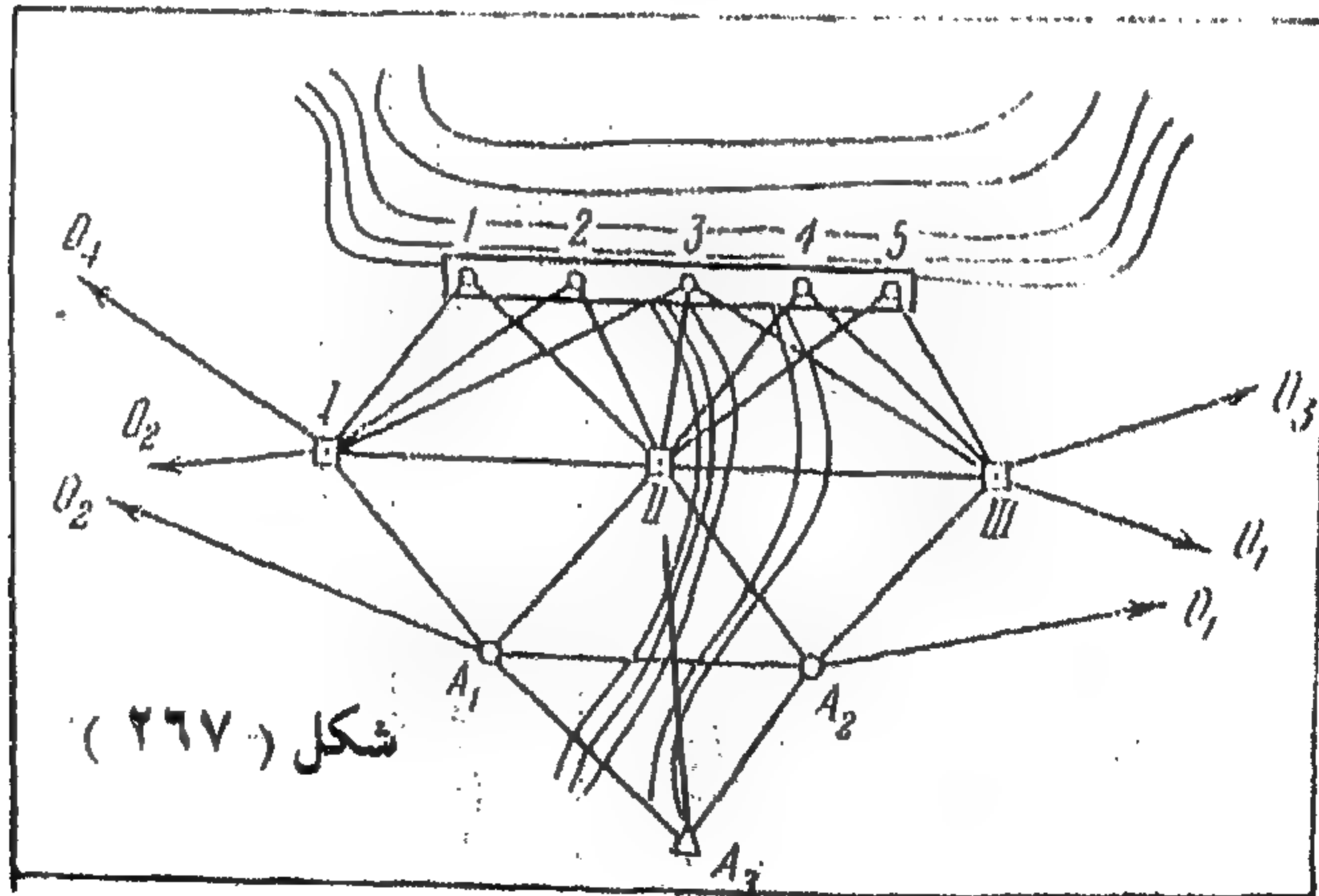
عندما يصعب القياس باستخدام طرق قياس الترحزح عن الخط الثابت والسابق شرحها وخاصة عند قياس تحرك السدود والخزانات الدائرية والمنحنية فتستعمل في هذه الحالة طريقة المثلثات .



وتتلخص هذه الطريقة في تثبيت نقط على جسم السد ثم تربط هذه النقط بشبكة مثلثات المنطقة وتحسب إحداثيات النقط الموجودة على جسم السد في فترات زمنية متوالية ويحسب منها مقدار التزحزح . وفي شكل (٢٦٦) موضح



مثال لشبكة مثلثات مختارة لحساب التحرك الأفقي في جسم سد . وفي شكل (٢٦٧) موضح مثال آخر حيث النقط المطلوب حساب تحركها على جسم السد هي ١ — ٢ — ٣ — ٤ — ٥ ونقط الشبكة الثابتة هي I ، II ، III ،  $A_1$  ،  $A_2$  ،  $A_3$  .

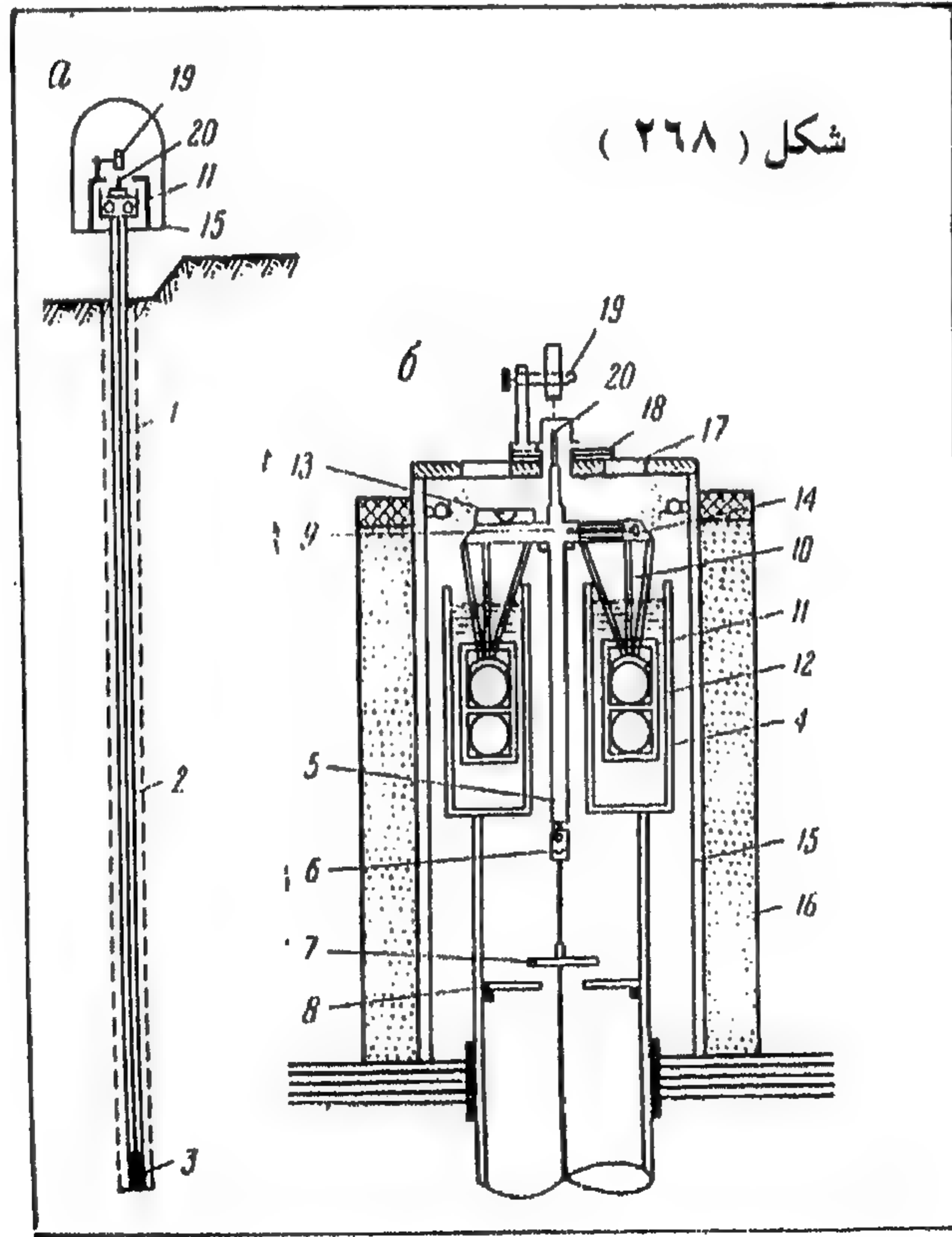




#### ٤ - طريقة القياس بثبوت ثقل رأسى أو عوامة

وفى هذه الطريقة يثبت سلك فى قاعدة أو فى أساس المنشأ المراد قياس قيمة ميله ( جسم سد مثلاً ) وتترك نهايته العليا حرة الحركة ليصبح السلك رأسياً دائماً فى جميع الأوضاع وذلك بوضع عوامات فى نهاية السلك العلوية تعوم فى حوض به مادة سائلة ويثبت الحوض فى جسم السد العلوى وعلى ذلك فعند حدوث ميل لجسم السد فيميل الجسم وكذلك الحوض أما السلك فهو حر الحركة ويظل رأسياً وبين الحوض والعوامة توجد مسطرة مدرجة تدريجاً دقيقاً بورنية ومثبتة بالحوض ويمكن بواسطة هذا المقياس معرفة مقدار ميل جسم السد التى تساوى مقدار إنحراف العوامة عن مكانها الأصلى .

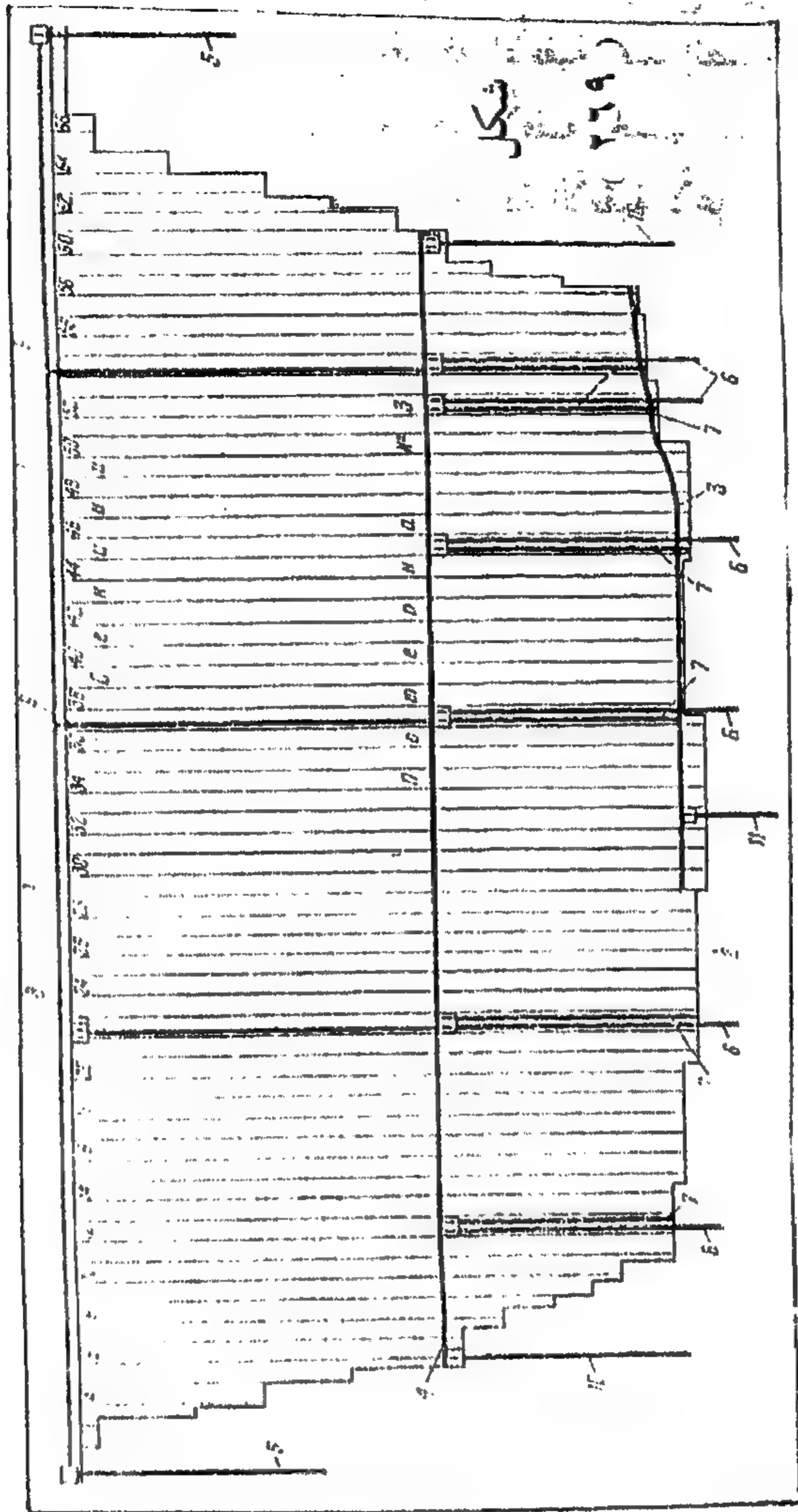
وفى الشكل (٢٦٨) مبين قطاعاً فى منشأ مثبتاً فيه السلك ذو العوامات كذلك مبين تكبير للجزء العائم منه .





هذا وقد يستخدم أكثر من سلك واحد ذو عوامات للمنشأ الواحد وذلك لقياس الزحزحة الأفقية للمنشآت الكبيرة كالسدود . وفي شكل (٢٦٩) موضع قطاعاً عرضياً في سد كراستايارسك بسيبيريا بالاتحاد السوفيتي موضحاً به أماكن وضع السلك ذو العوامة والذي وضع على مناسيب مختلفة من جسم السد عند ٥ مثلاً لقياس الحركة الأفقية عند إتصاله بالجانب الجبلي للمجرى النهري ، وعند ٦ لقياس الحركة الأفقية لجسم السد على عمق ١٠ أمتار من سطح الطريق فوقه ، ٩ لقياس الحركة الأفقية لأعلى نقطة في منتصف جسم السد .







## الباب الخامس والعشرون

### رأسية المنشآت وتطبيقات أخرى

من الأعمال الهامة في الهندسة المدنية ضبط رأسية المنشآت عند التنفيذ خاصة المنشآت السابقة التجهيز الخرسانية والمنشآت المعدنية ، كذلك نقل المحاور للمنشآت من سطح الأرض إلى الأدوار العليا في المنشآت ونقل المناسب أيضاً إلى الأدوار العليا وحساب الميل الحادث في المنشآت العالية وغيرها من الأعمال التطبيقية الهامة . وفي هذا الباب سوف نعطي شرحاً وافياً لطريقة تنفيذ هذه العمليات الهامة بأدق الطرق .

#### أولاً — ضبط رأسية المنشآت

##### تثبيت الأعمدة رأسياً :

لتثبيت عمود خرساني سابق التجهيز رأسياً على القاعدة الخاصة به تجرى الخطوات الآتية :

١ — يحدد محورا هذه القاعدة (٥) ، (٦) وذلك بعمل ( خنزيرة ) لها كما هو موضح في شكل (٢٧٠) وفي نفس الوقت تعمل في واجهات العمود عند كل من قاعدته ونهايته علامات تحدد أيضاً محاوره .

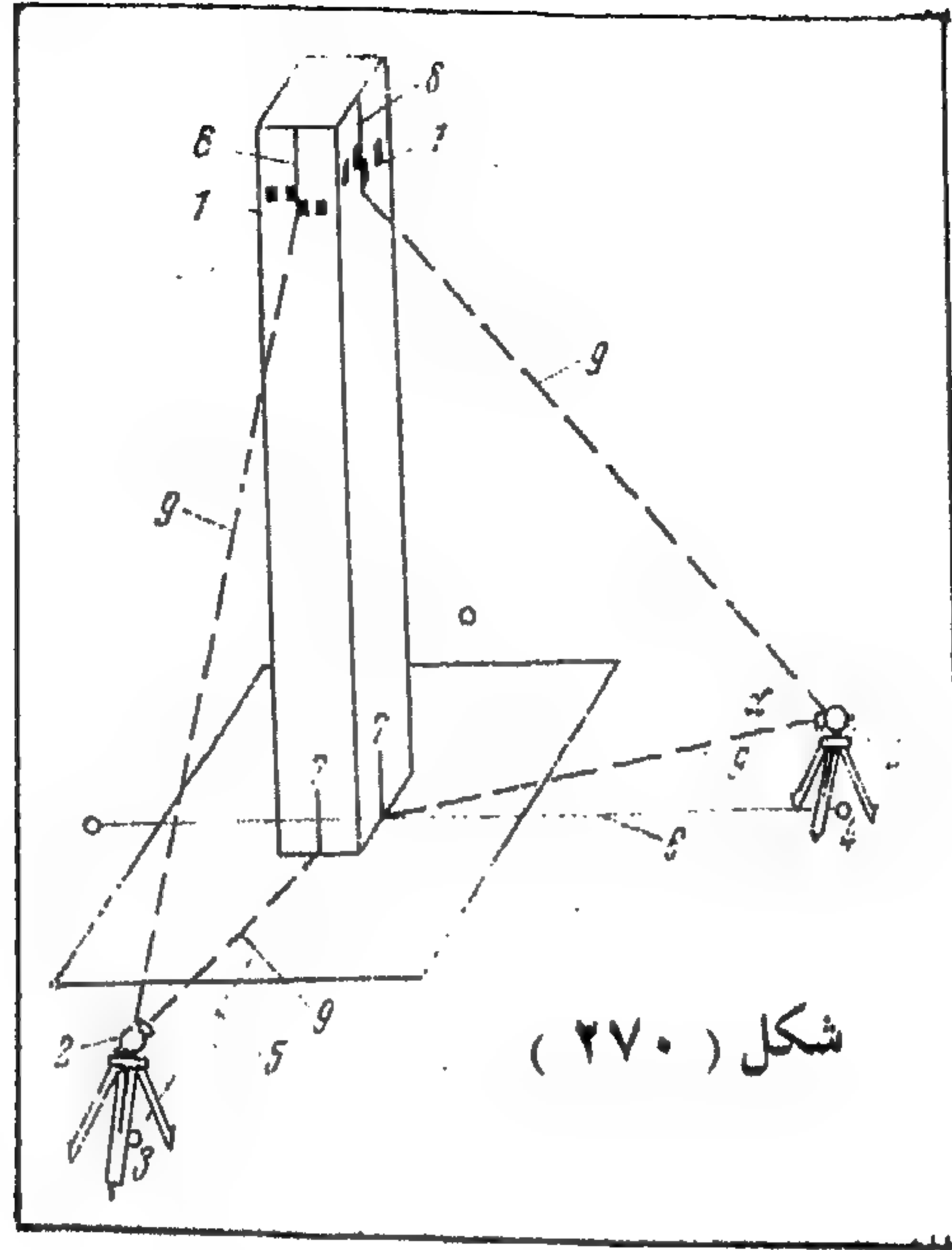
٢ — يثبت العمود في القاعدة بحيث تكون محاوره (٧) ، (٧) منطبقاً على محاور القاعدة .

٣ — يوضع تيودوليتان (٢) على امتداد محاور القاعدة في النقطتين (٣) ، (٤) وترصد العلامات المحددة لمحور العمود (٧) ، (٧) .

٤ — يرفع خطا النظر للتيودوليتين حتى نهاية العمود ويحرك العمود في الاتجاهين حتى ترصد بالشعرات الرأسية العلامات المحددة لنهاية العمود ٣ — ٣ .

٥ — يعاد العمل بالرصد والتيودوليت في الوضع متياسر فإذا لم تنطبق الشعرة الرأسية على العلامة (٣) تحرك قمة العمود بمقدار نصف الزحزحة .



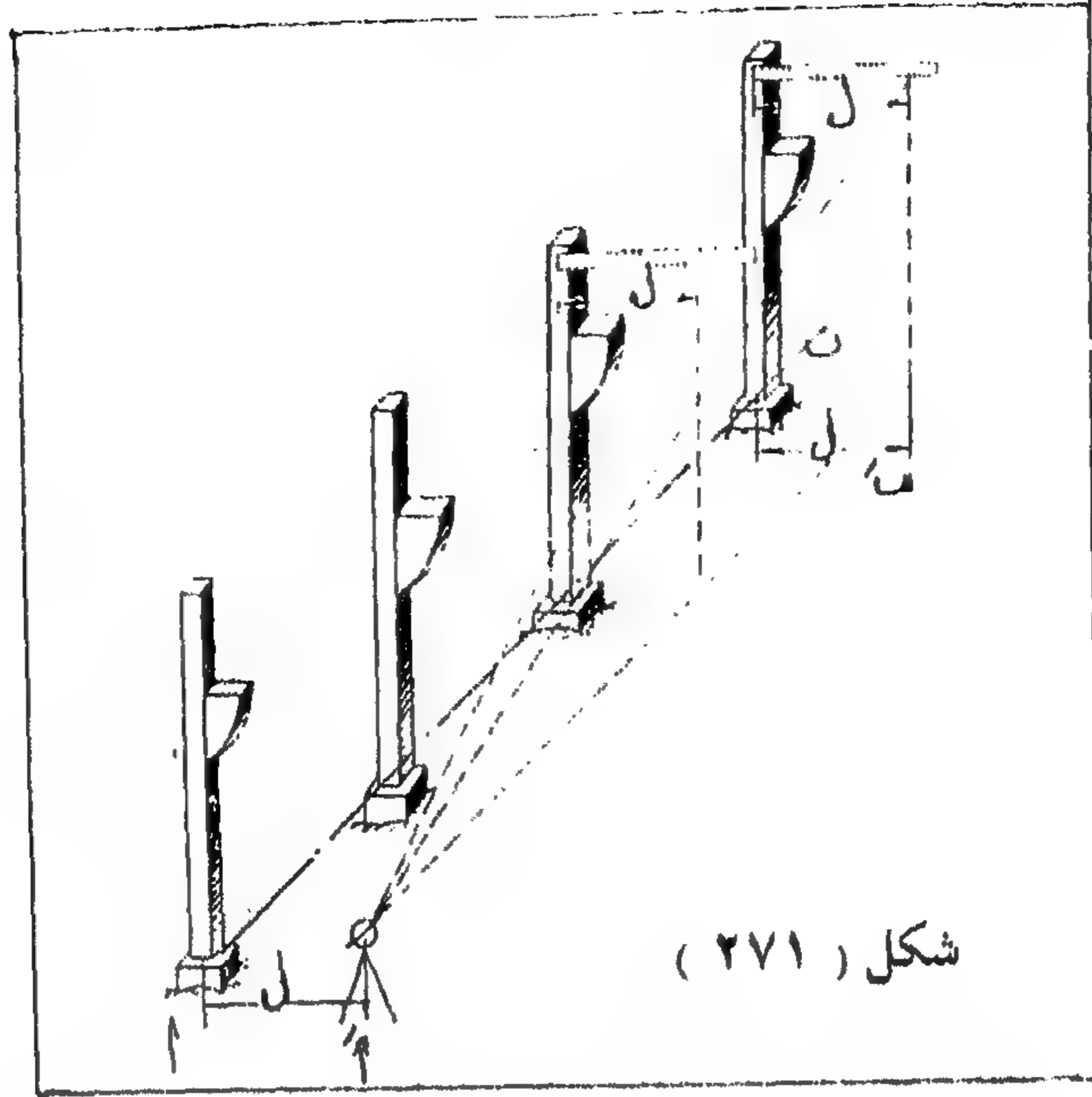


تثبيت مجموعة من الأعمدة رأسياً على صف واحد :

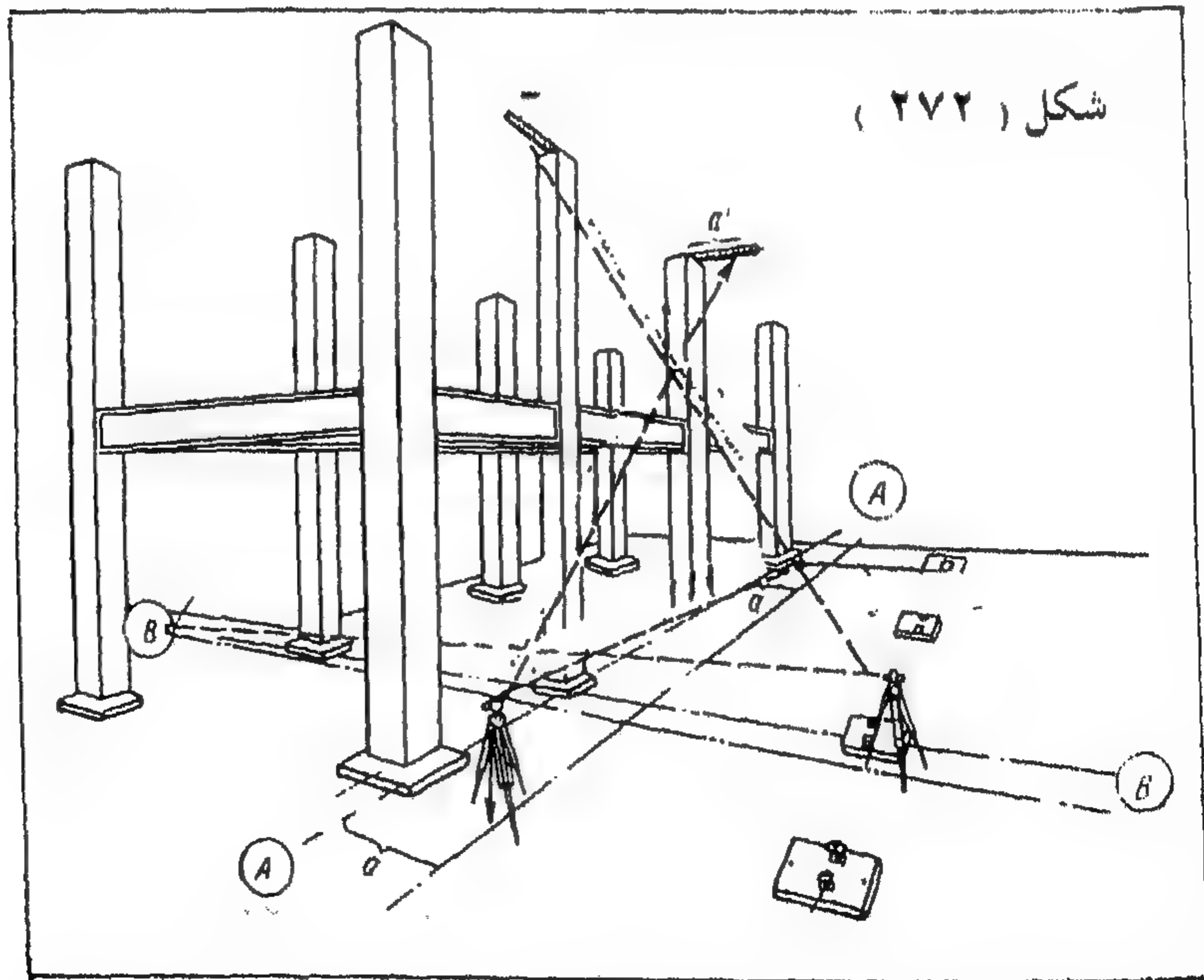
لتثبيت مجموعة من الأعمدة الخرسانية السابقة التجهيز أو لتثبيت مجموعة من الأعمدة المعدنية تجرى الخطوات الآتية :

- ١ - يحدد محور الأعمدة أ - ب كما في شكل (٢٧١) .
- ٢ - يثبت تيودوليت عند نقطة أ' تبعد عن أ مسافة قدرها ( ل ) .
- ٣ - توضع الأعمدة على قواعدهما بحيث تكون محاورها منطبقة على محاور القواعد .
- ٤ - تثبت علامة أرضية ب تبعد عن آخر عمود في المجموعة بمسافة ل أيضاً .
- ٥ - يثبت عند نهاية كل عمود وإبتداء من محوره قامة أفقية .
- ٦ - بالتيودوليت الموضوع عند أ' ترصد العلامة عند ب' وتثبت مسامير الحركة حول المحور الرأسى في هذا الوضع ، ثم يرفع خط النظر حتى نرصد القامات الأفقية المثبتة في نهايات الأعمدة ويحرك العمود حتى نحصل على قراءات القامات المختلفة تساوى أيضاً ل .





وللتأكد من رأسية الأعمدة في الإتجاهين المتعامدين — خاصة إذا كانت في أكثر من صف واحد — تثبت على نهايات الأعمدة قامات في الاتجاهين ويستخدم تيودوليتين ( أو أكثر ) في الاتجاهات المتعامدة كما هو موضح في شكل ( ٢٧٢ ) .

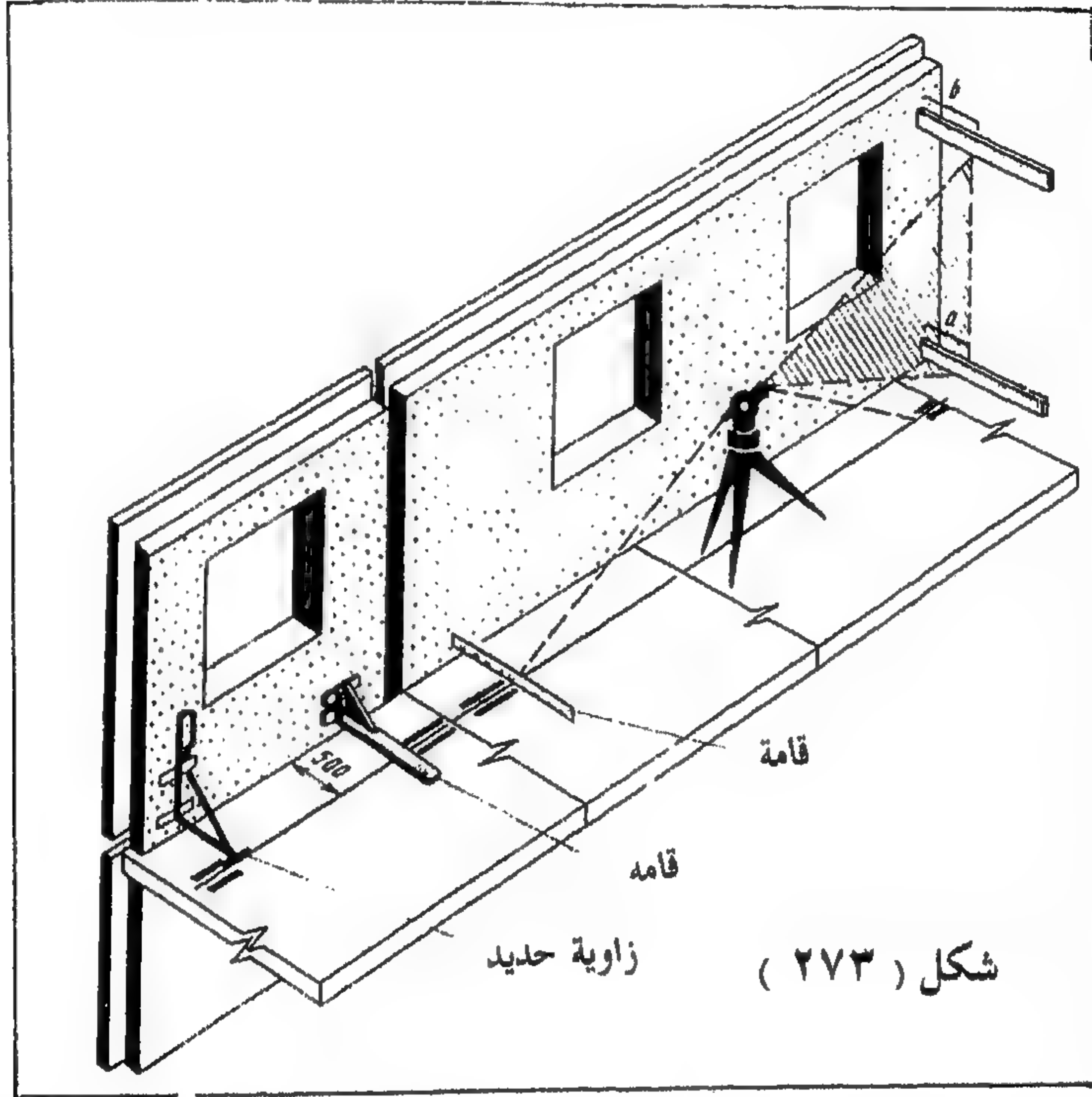




## ضبط رأسية الحوائط السابقة التجهيز :

لتثبيت الحوائط السابقة التجهيز رأسياً عند الإنشاء للمنازل الجاهزة تتبع الخطوات الآتية :

١ — تثبت عند طرف أحد هذه الحوائط وعند قاعدتها زاوية حديدية طول ضلعها حوالى ٥٠ سم كما هو موضح فى شكل (٢٧٣) .



٢ — تثبت قامة عمودية على مستوى الحائط وعند نهايته ، ويؤخذ على هذه القامة بعداً يساوى طول ضلع الزاوية ويرسم على الأرضية المحور الواصل بين هذه العلامة وبين نهاية الزاوية الحديدية وهو سيكون موازياً لمستوى الحائط كما فى الشكل .

٣ — يثبت تيودوليت على إحدى نقط هذا المحور ويوجه المنظار ليرصد نقطة على المحور وتثبت مسامير الحركة حول المحور الرأسى فى هذا الوضع .

٤ — توضع قامات عمودية على مستوى الحائط وذلك عند أوله وآخره من أسفل ومن أعلى ونرصد قراءات هذه القامات والتي يجب أن تكون متساوية



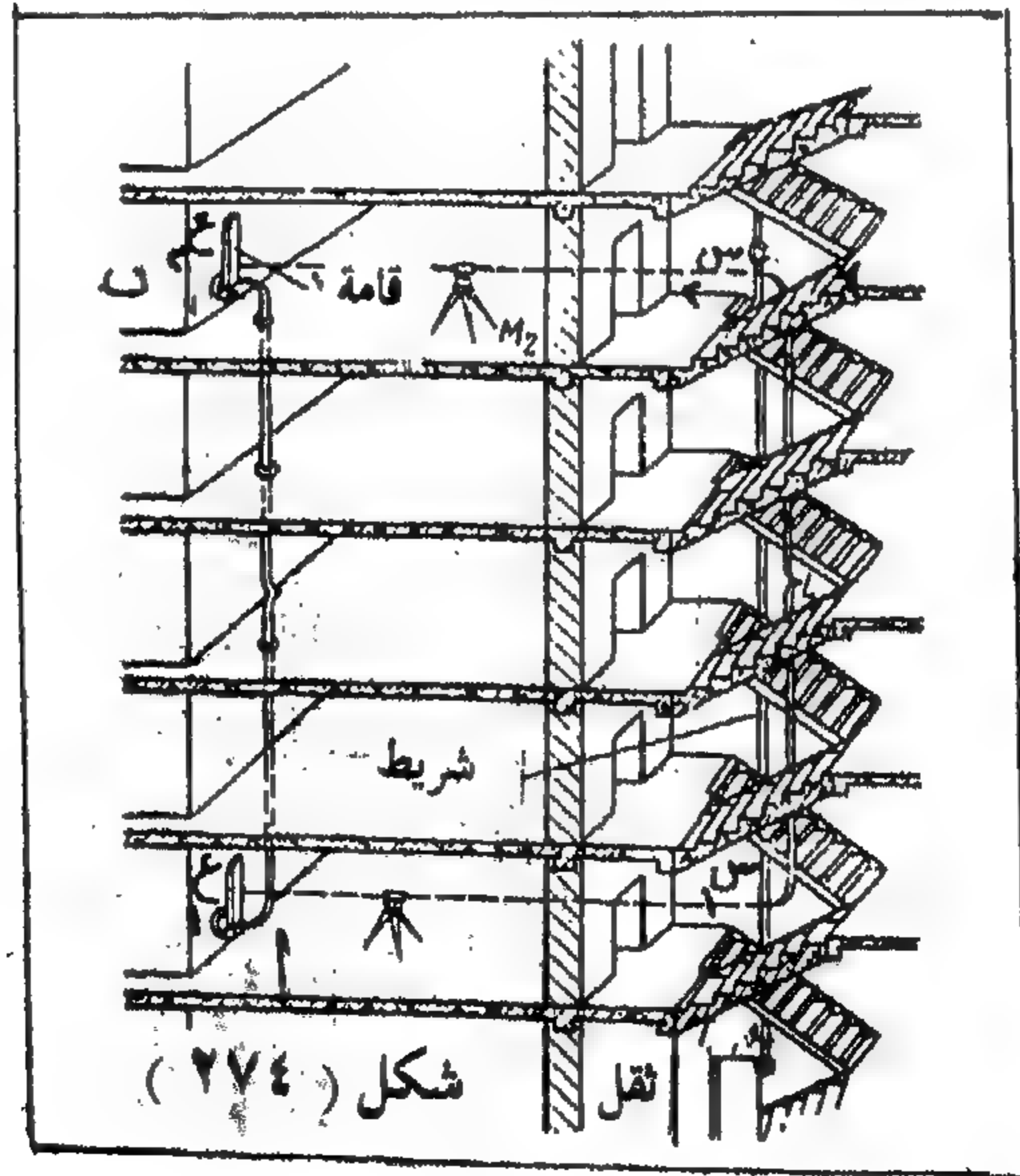
دائماً ومساوية البعد بين مستوى الحائط والمحور . أما إذا كانت قراءات القامة  
أعلى الحائط مختلفة عن القراءات عند أسفل الحائط فهذا دليل على عدم رأسية  
الحائط ويجب إجراء اللازم لتصحيح هذا الميل .

ملحوظة هامة :

يجب التأكد أولاً من شروط الضبط الدائم للتيودوليت المستخدم في  
العمليات السابقة لأن أى خطأ في عدم رأسية الشعرة الرأسية ومركزها أو ميل  
محور حامل المنظار يسبب خطأ كبيراً في تنفيذ العمليات السابقة . وإلا يتم  
إعادة العمل والجهاز في الوضع متياسر وتصحيح الزحزحة إذا حدثت بمقدار  
النصف .

### ثانياً — نقل المناسيب إلى أعلى المنشآت

كثيراً ما نحتاج إلى نقل المناسيب من سطح الأرض إلى الأدوار المختلفة أعلى  
المنشآت . ويمكن إجراء ذلك بطريقة شبيهة بالمتبعة في نقل المناسيب إلى داخل  
الأنفاق أى بطريقة الشريط والميزانين ، ففي شكل ( ٢٧٤ ) لتعيين منسوب  
نقطة ب أعلى المنشأ من نقطة أ يثبت ميزان على السطح الذى تقع فيه نقطة  
( أ ) وآخر على السطح الذى تقع فيه نقطة ( ب ) ثم يعلق شريط رأسى على





أن يكون أوله إلى أسفل وليكن في هر السلم الخاص بالمنشأ ( أحياناً تعمل فتحات خاصة في الأسقف لذلك ) ثم تأخذ القراءات في وقت واحد بالميزان الأول على القامة عند نقطة ( ١ ) وبالميزان الثاني على القامة عند نقطة ( ب ) ، ثم في وقت واحد أيضاً على الشريط بالميزان الأول والثاني فإذا كانت القراءات على القامة السفلى والقامة العليا هي  $١ع$  ،  $٢ع$  على الترتيب وكانت القراءات على الشريط هي  $١س$  ،  $٢س$  فإن منسوب نقطة ( ب ) يمكن حسابه كالاتي :

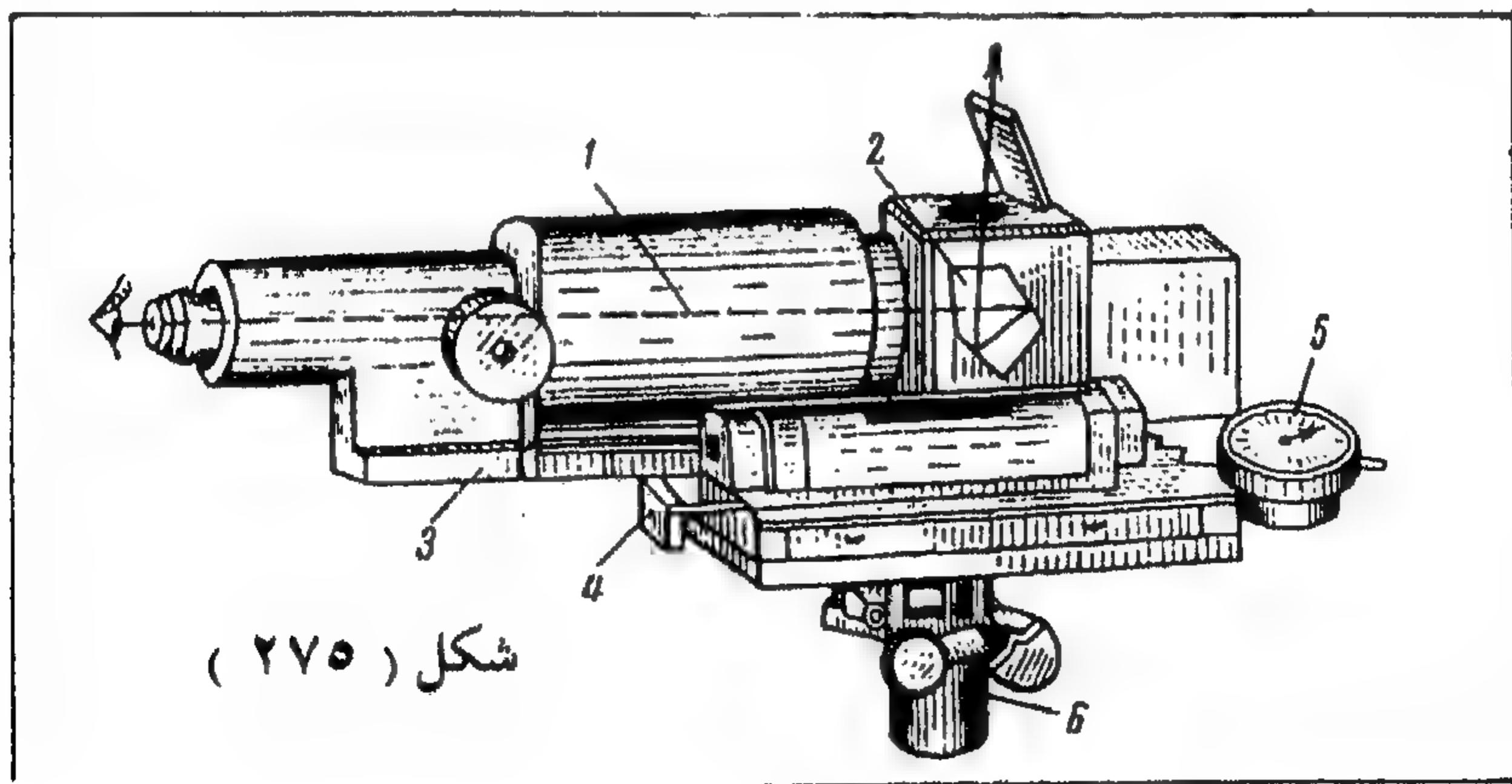
$$\text{منسوب ( ب )} = \text{منسوب ( ١ )} + ١ع - ( ٢س - ١س ) - ٢ع$$

..... (٢١٢)

### ثالثاً - نقل المحاور للمنشأ إلى الأدوار المتكررة

من العمليات الهامة في الهندسة المدنية عملية نقل المحاور للمنشأ إلى الأدوار المتكررة وتتم هذه العملية باستخدام أجهزة خاصة شبيهة بمنظير ضبط التسامت المزودة بها التيودوليتات إلا أن هذه الأجهزة مستقلة في عملها ووظيفتها نقل المحور الرأسى للجهاز إلى أعلى مسافات كبيرة بأخطاء صغيرة جداً .

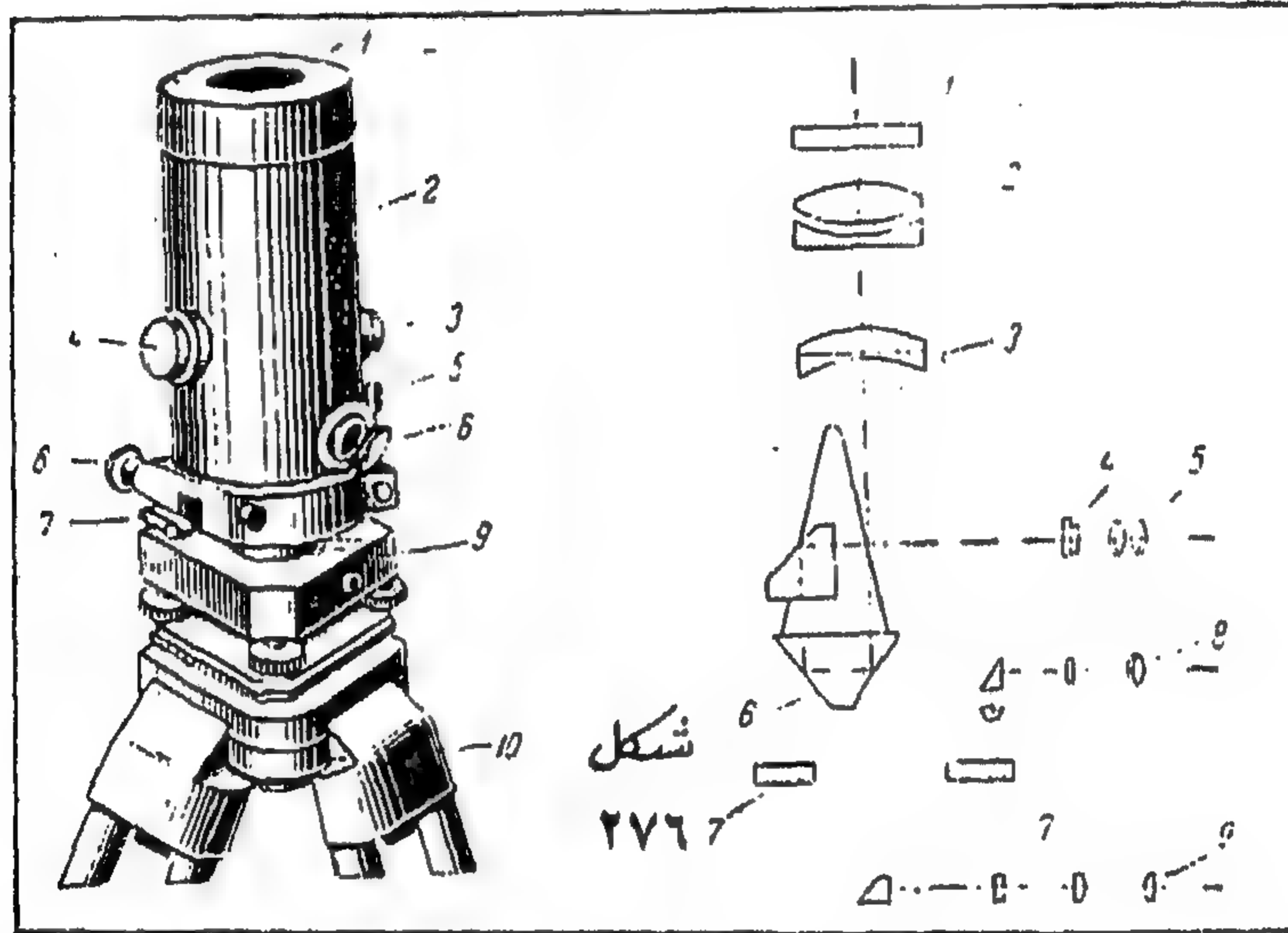
وشكل (٢٧٥) يبين مثال لهذه الأجهزة وهو الجهاز المعروف باسم POVP والذي يتكون أساساً من منظور مساحى (١) مركب أمام عدسته الشيئية منشور عاكس (٢) لكى ينكسر خط النظر إلى أعلى عمودياً على المحور





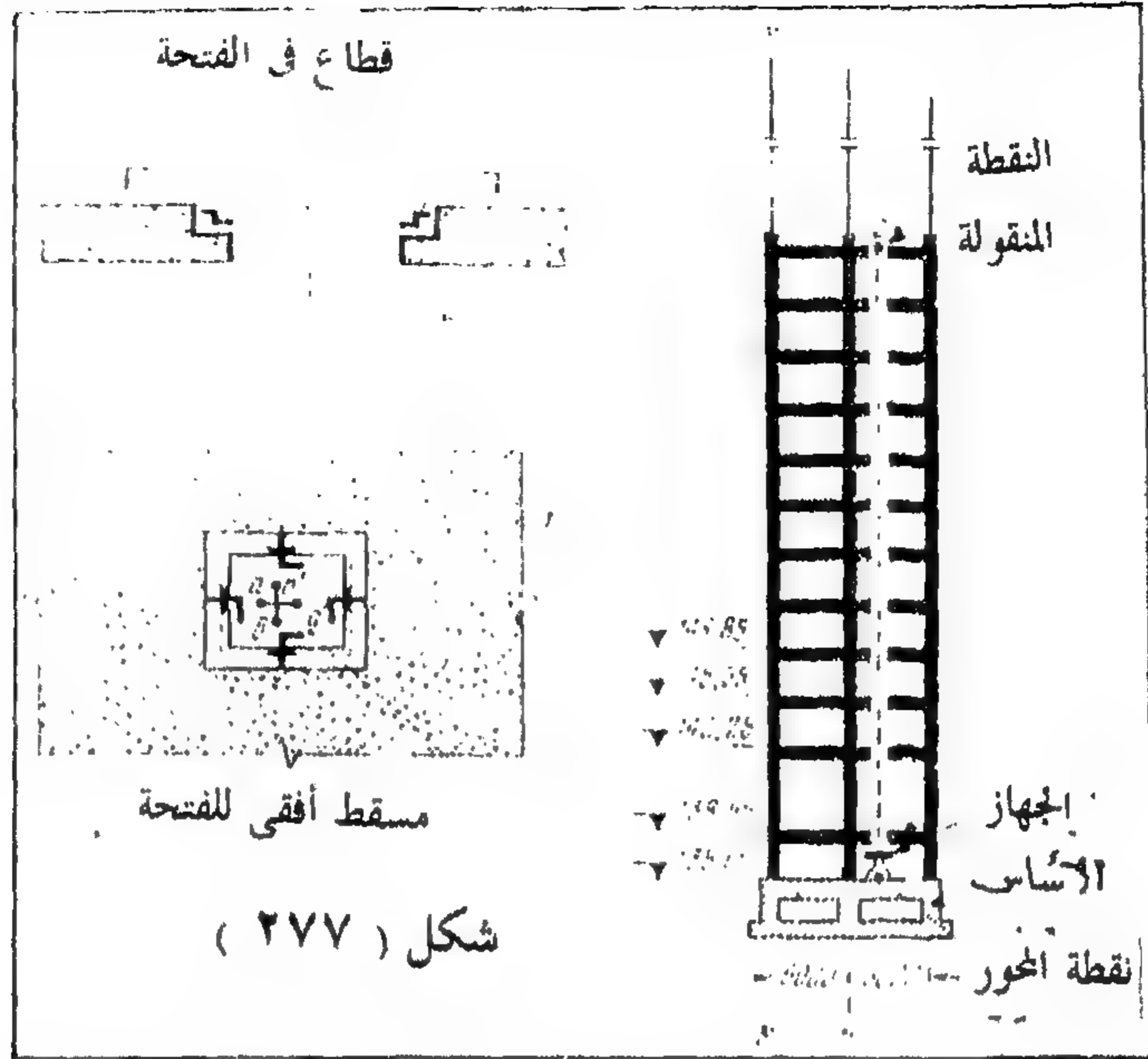
البصرى للمنظار ، وجسم الجهاز (٣) يمكن أن ينزلق على قاعدته (٤) في الاتجاه الطولى ويمكن تسجيل مقدار هذه الحركة بميكرومتر خاص (٥) ويمكن تثبيت محور الجهاز (٦) على أى حامل ثلاثى . والخطأ في انحراف الشعاع المنكسر في حدود  $\pm 0.2$  " .

وشكل (٢٧٦) يبين مثلاً آخر لهذه الأجهزة وهو جهاز P Z L من صنع شركة زايس وهو شبيه في تركيبه بجهاز Koni - 007 وفيه يتم ضبط خط النظر رأسياً بمجرد ضبط الجهاز أفقياً ويمتاز هذا الجهاز عن الجهاز الأول بأنه يمكن إجراء عملية التسامت للجهاز بصرياً ودقته عالية جداً إذ أن أكبر زحزحة لخط النظر الرأسى على إرتفاع ١٠٠ متر من الجهاز هى  $\pm 1$  ملليمتر .



ولنقل المحاور الأفقية للمنشأ من الدور الأرضى للأدوار المتكررة تعمل فتحات في أسقف الأدوار المتكررة أعلى نقط المحور مقاسها ٣٠ سم X ٣٠ سم شكل (٢٧٧) . ثم يوضع جهاز نقل المحور الرأسى مسامتا لنقطة المحور الثابتة في الدور الأرضى ويوضع لوح من البلاستيك الشفاف على الفتحة عند السقف المراد نقل المحور إليه ، ويضبط الجهاز أفقياً ونرصده المحور الرأسى ( أى خط النظر الرأسى ) ثم يحرك قلم رصاص على اللوح البلاستيك حتى يرصد بخط نظر الجهاز وتعمل علامة على اللوح . بعد ذلك ندير الجهاز حول





محوره الرأسى ٥٩٠ ونكرر العمل السابق فنحصل على نقطة ثانية على اللوح ثم ندير الجهاز مرة أخرى حول المحور الرأسى ٥٩٠ درجة أخرى ( أى ١٨٠° عن أول وضع ) فنحصل على نقطة ثالثة ، وأخيراً ندير الجهاز حول محوره الرأسى ٥٩٠ أخرى ( أى يصير المجموع ٢٧٠° ) نحصل على نقطة رابعة على اللوح البلاستيك كما هو موضح فى شكل (٢٧٧) . وبذا تكون نقطة المحور الجديدة فى هذا الدور هى النقطة المتوسطة للأربع نقط ونحصل عليها بتقاطع الخطين المستقيمين الواصلين بين كل نقطتين متقابلتين .

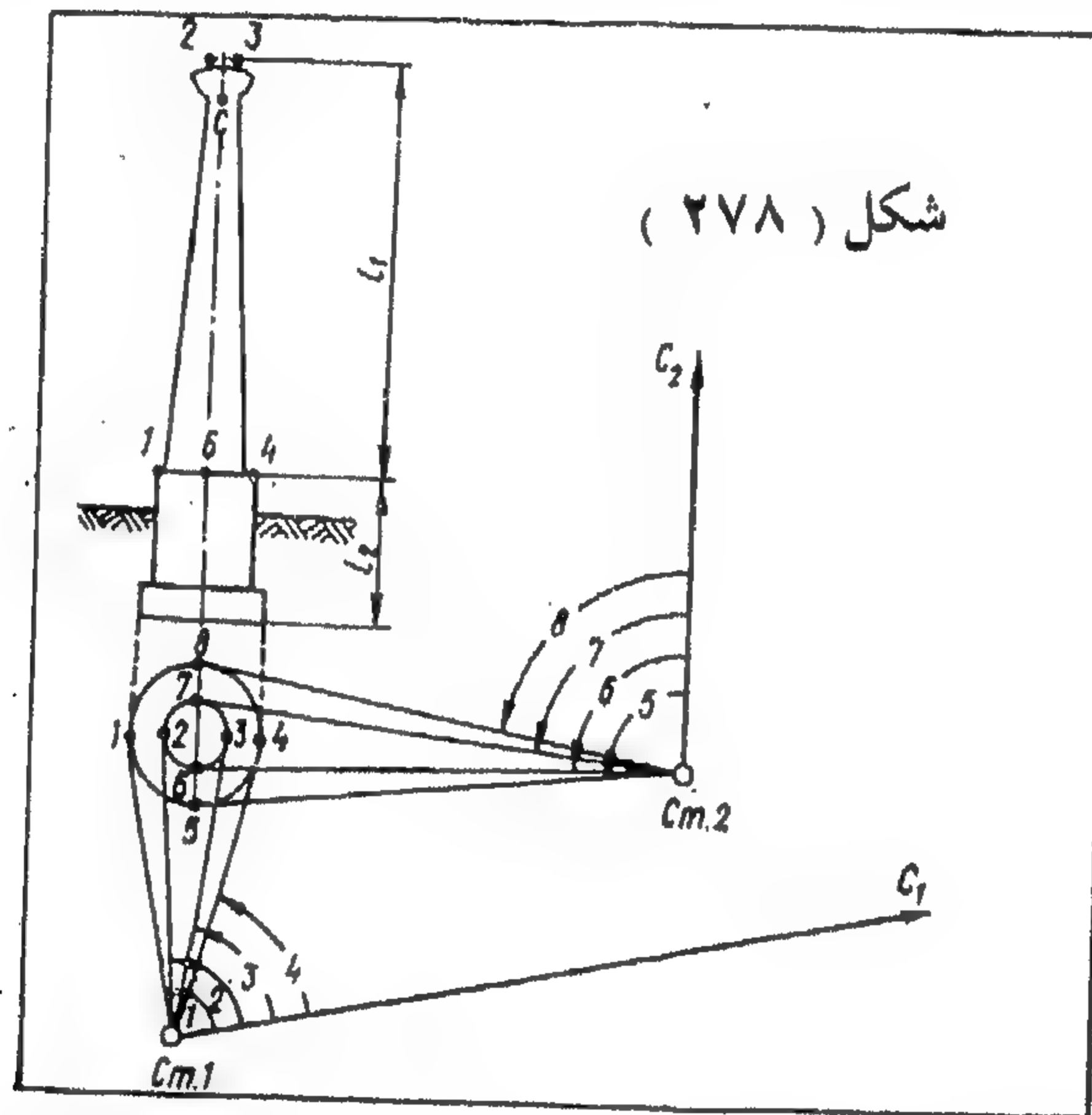
يكرر نفس العمل عند النقطة التى تحدد نهاية المحور وبذا نحصل على نقطتين المحور الجديدتين على سقف الدور المطلوب .

### رصد الميل الحادث فى المنشآت العالية

هناك طرق عديدة لرصد الميل الحادث فى المنشآت العالية كالعمارات السكنية أو الأبراج الحديدية أو مداخن المصانع ، ومن أحسن هذه الطرق الرصد بجهاز تيودوليت لتحديد مقدار زاوية الميل ومقدار ازاحة قمة المنشأ عن قاعدته .

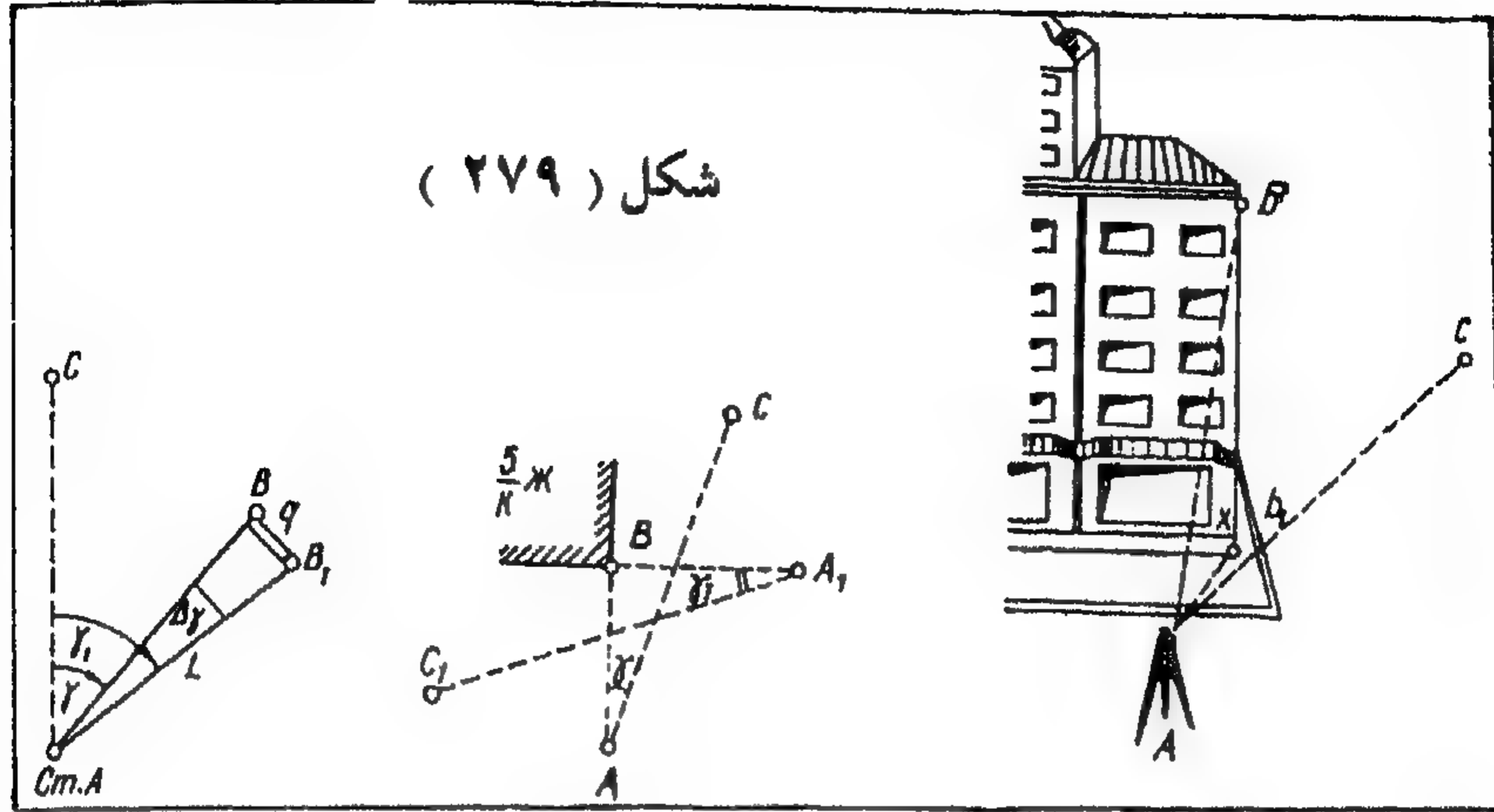


وشكل (٢٧٨) يوضح مثلاً لرصد ميل برج دائري عن محوره الرأسى ولأتمام ذلك تم اختيار موضعين للرصد بجهاز التيودوليت فى جهتين متعامدتين على بعضها ويقعا على محور البرج وحددت علامات على قمة وجسم البرج بحيث تقاس الزوايا المحصورة عند نقط الرصد بين الخطوط الواصلة إلى هذه النقط وبين اتجاه ثابت ( وذلك لكلا الموضعين ) . ويتم الرصد بانتظام فى فترات زمنية متباعدة فإذا ما ظهر اختلاف فى مقادير هذه الزوايا دل ذلك على الميل . ويحدد مقدار الميل بتعيين ارتفاع البرج تاكيومترياً بالتيودوليت وبعد نقطة الرصد عن البرج وبذلك تكون لدينا المعلومات الكافية للحساب .



وشكل (٢٧٩) يبين مثال آخر لتحديد ميل مبنى سكنى بالرصد على قمته (B) بالتيودوليت من نقطة (A) الواقعة على امتداد ضلع المبنى ثم من نقطة (A<sub>1</sub>) الواقعة على امتداد الضلع العمودى ، وفى كلا الحالتين تقاس الزاوية الأفقية بين القمة واتجاه آخر ثابت ( A C للوضع الأول ، A<sub>1</sub> C<sub>1</sub> للوضع الثانى ) . فإذا ظهر أى تغيير فى مقدار الزاوية المقاسة فى رصدتين متتاليتين دل ذلك على حدوث ميل فى هذه الفترة الزمنية للرصد . فإذا ما كان مقدار التغيير فى الزاوية الأفقية هو  $\gamma$  ( شكل ٢٧٩ ) وكان بعد نقطة الرصد عن حافة المبنى هو L فإن مقدار ازاحة قمة المبنى B<sub>1</sub> عن موضعه الأصيل B هو q فيحسب من المعادلة :





(٢١٣) .....

$$q = \Delta \gamma'' . L . \frac{t}{206265}$$

ويتم حساب  $q_1$  في الاتجاه المتعامد ومن ثم يتم حساب متجه الازاحة الكلية . أما إذا كان الميل قد حدث فعلاً كلية ويراد حساب مقداره ومقدار الزحزحة فإنه يتم إسقاط موقع قمة المبنى على مستوى الشارع بتيودوليت مستوفى شروط الضبط الدائم وتقاس المسافة من موضع المسقط حتى ركن المبنى فيكون هذا مقدار الزحزحة ( يتم ذلك في إتجاهين متعامدين ) وبمعرفة مقدار الزحزحة وارتفاع المبنى يتم حساب زاوية الميل .



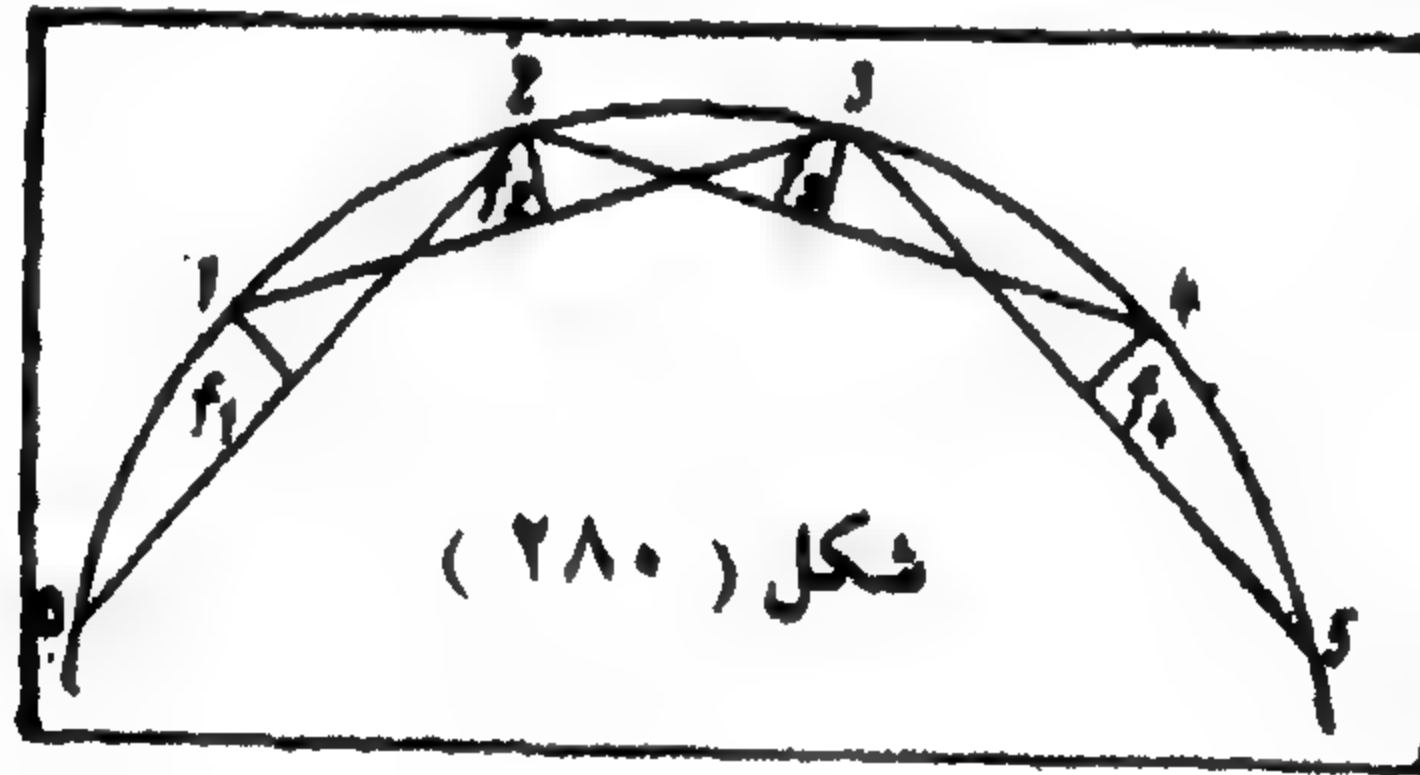
## الباب السادس والعشرون

### التحقق من دقة تنفيذ منحنيات السكة الحديد

إن عملية التحقق من دقة تنفيذ منحنيات السكة الحديد تجرى في الموقع عند إنشاء الخطوط الجديدة ، أو عند إجراء الصيانة لهذه الخطوط وتحديد القضبان أو الفلنكات أو مادة التزليط . والغرض من العملية هو التأكد من أن انحناء القضبان الذي يجرى في الورش باستخدام أسس تخطيط المنحنيات لم يتغير نتيجة عمليات نقل القضبان إلى موقعها أو نتيجة تثبيت هذه القضبان . ويتم عملية التحقق إما بطريقة الأسهم والتي يستخدم فيها فقط الشريط وقامة مدرجة ، أو بواسطة استخدام جهاز مساحي مثل التيودوليت بالإضافة لبعض الأدوات المساعدة .

#### أولاً : باستخدام طريقة الأسهم :

وهي تستخدم عندما يكون طول المنحنى غير كبير ، وفيها يستخدم شريط وقامة مدرجة بدقة ملليمتر واحد . ويتم التحقق بأخذ طول من الشريط قدره ٥ أو ١٠ أمتار وأعتبره طول وتر في المنحنى ( شكل ٢٨٠ ) ، يثبت أول



الشريط عند نقطة بداية المنحنى (0) ويشد على طوله حتى نحصل بنهايته على نقطة على القضيب مثل نقطة (٢) ( شكل ٢٨٠ ) ، ينصف الوتر من نقطة المنتصف وبواسطة القامة المدرجة يقاس طول السهم الداخلي  $f_1$  عمودياً على الوتر وفي نفس الوقت نحصل على نقطة جديدة (١) . نكرر العمل بتثبيت أول الشريط عند (١) وآخر الشريط بمحدد نقطة مثل (٣) ثم نقيس السهم الداخلي



$f_2$  والذي لا بد وأن يمر بنقطة (٢) . بثبيت الشريط في (٢) نحصل بآخره على نقطة (٤) ونقيس السهم الداخلي والذي لا بد وأن يمر بنقطة (٣) ... ونستمر في العمل حتى نصل إلى آخر المنحنى . للتحقق من العمل يعاد القياس مرة أخرى من آخر نقطة في المنحنى وحتى أوله . ويجب أن لا يزيد الفرق في قياس الأسهم عن ٢ — ٣ ملليمتر وفي حالة وجود فروق أكبر من ذلك يعاد العمل مرة ثالثة للتأكد من القيم الناتجة مع مراعاة توفر الدقة في القياس وفي شد الشريط وعدم العمل في وجود رياح قوية .

بعد الحصول على قيم الأسهم الداخلية عند نقط المنحنى المختلفة تقارن القيم المقاسة بالقيم الحسائية من واقع البيانات التصميمية للمنحنى ( نصف قطره وزاويته أو درجته ) فيجب أن لا يزيد الفرق عن ١٥ ملليمتر وإلا فتقوم مجموعة الصيانة للسكة بعمل تعديل للانحناء حتى تتطابق الأسهم المقاسة مع الأسهم من واقع الحساب .

ثانياً — باستخدام الأجهزة :

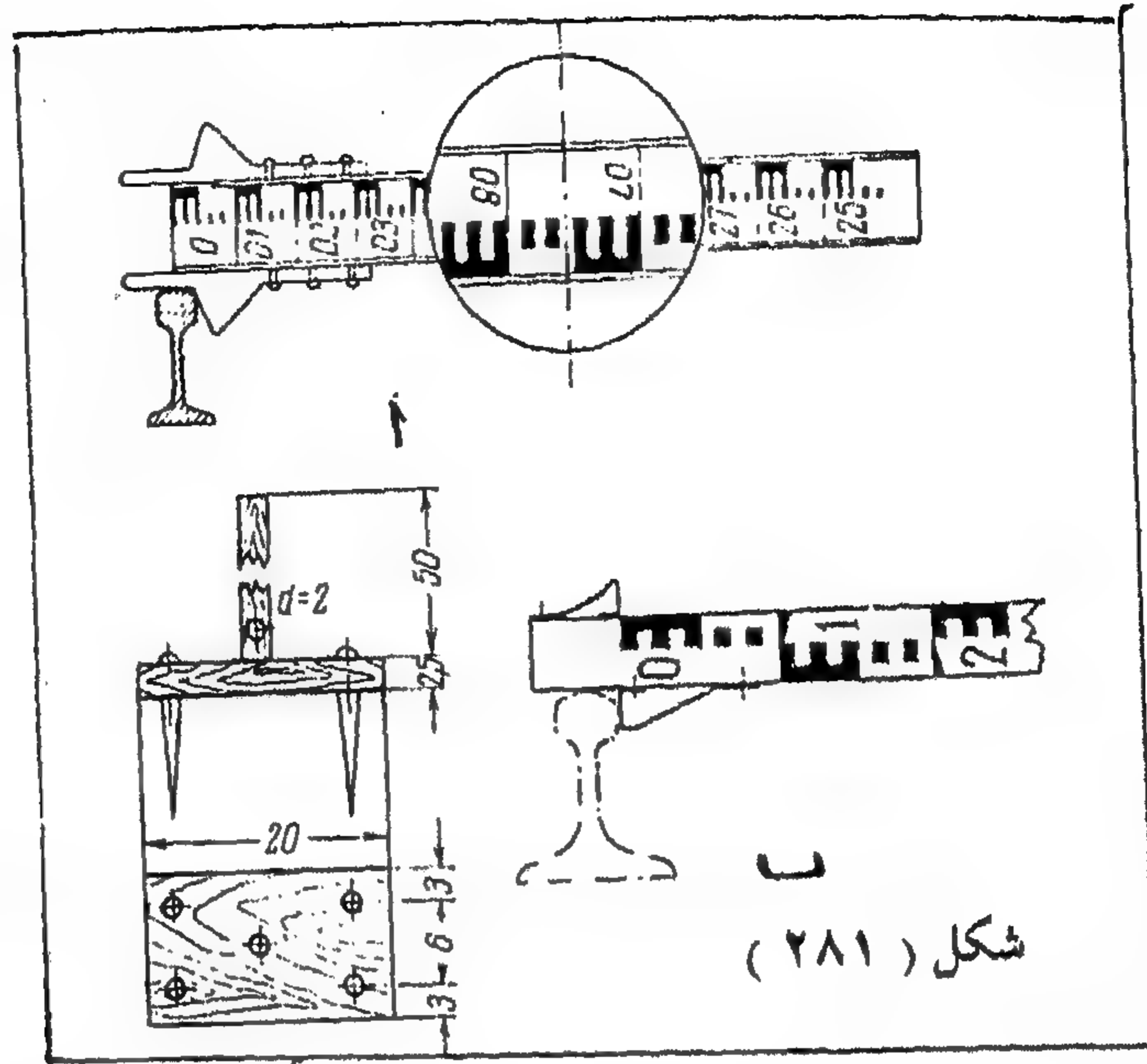
وعادة يستخدم في هذه الطرق تيودوليت وقامة مدرجة خاصة . ويمكن التحقق من دقة تنفيذ المنحنيات باستخدام الأجهزة إما بطريقة جوليكرج أو طريقة لوتز أو طريقة النقط الثابتة وفيما يلي سنوجز هذه الطرق الثلاث :

أ — طريقة جوليكرج :

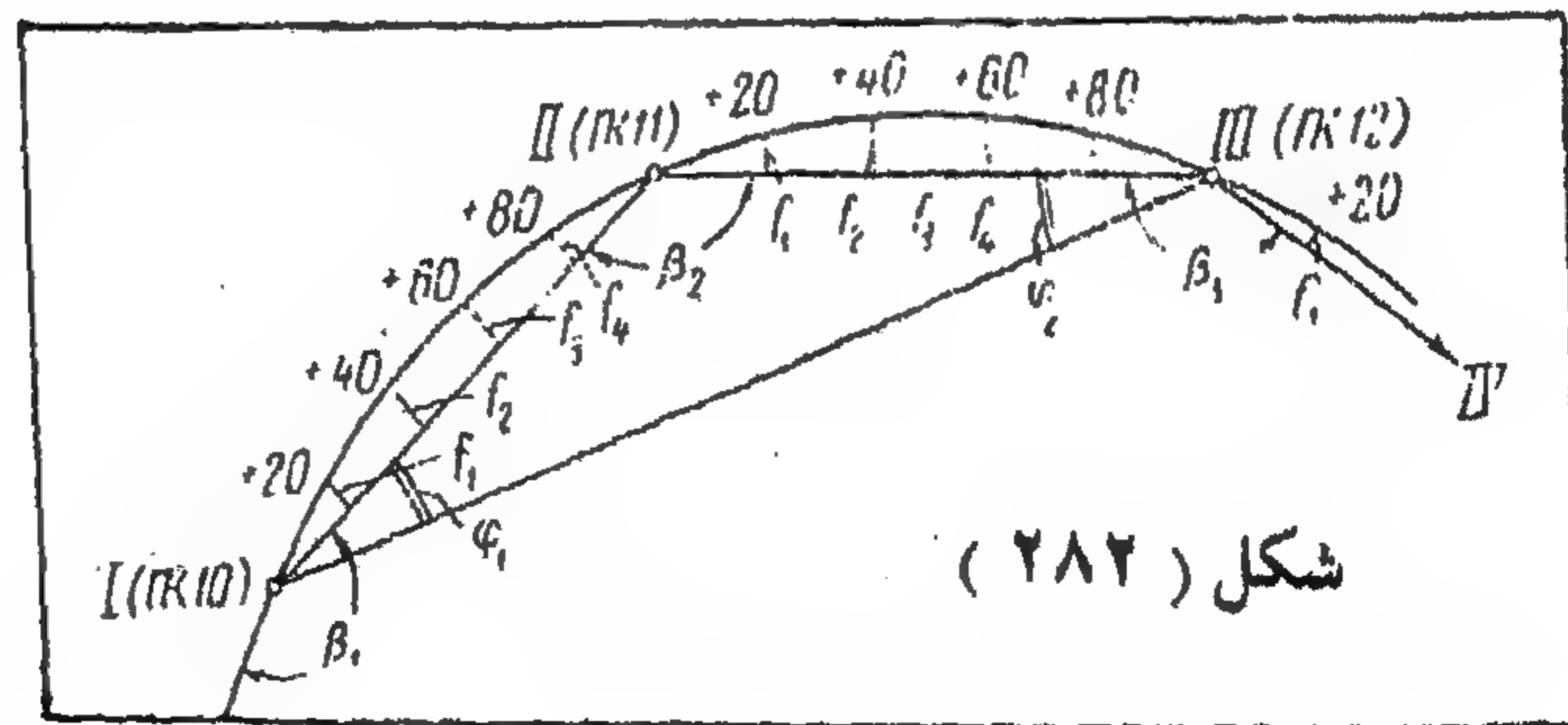
ويستخدم في هذه الطريقة تيودوليت وثلاث علامات رصد وقامة ميزانية مجهزة عند نهايتها تجهيزاً خاصاً حتى يمكن إرتكازها على تاج القضيب وهي في وضع أفقى ، شكل (٢٨١) يبين تفاصيل إحدى هذه القامات المجهزة .

ولأجراء عملية التحقق نبدأ بوضع علامات بالبوية على تاج القضيب من الداخل ناحية المركز وذلك كل عشرون متراً من بداية المنحنى ، ونثبت التيودوليت عند نقطة بداية المنحنى I شكل (٢٨٢) وعلامات الرصد عند النقط II ، III ( عند مسافة ١٠٠ ، ٢٠٠ متر من بداية المنحنى ) وعلامة أخرى على إمتداد المماس للمنحنى من بدايته ، ثم نقيس الزاوية بين المماس والوتر الكلى III I ولتكن  $\beta_1$  كذلك الزاوية  $\phi_1$  وذلك لضبط المثلث I II III .





يثبت اليداد التيودوليت في الاتجاه II I ثم تركز القامة أفقياً على تاج القضيب في  
النقط ٢٠ ، ٤٠ ، ... وفي كل مرة وبواسطة الشعرة الرأسية للتيودوليت  
نأخذ قراءة القامة فتكون هي الأحداثيات  $f_1$  ،  $f_2$  ، ..... بعد الانتهاء من  
الحصول على كل قيم الأحداثيات من الخط I ، II ينقل التيودوليت إلى نقطة II  
وعلامات الرصد عند I ، III ، IV ويكرر العمل بقياس الزاوية  $\beta_2$  بين  
الوترين ثم ترصد الأحداثيات على طول الأوتار I-II ، II-III . نأخذ متوسط  
الأحداثيات المأخوذة على إمتداد I - II إذا كان الفرق لا يزيد عن ثلاثة  
مليمترات أما إذا زاد عن ذلك فتأخذ أرصاد ثالثة . تسجل النتائج في جدول

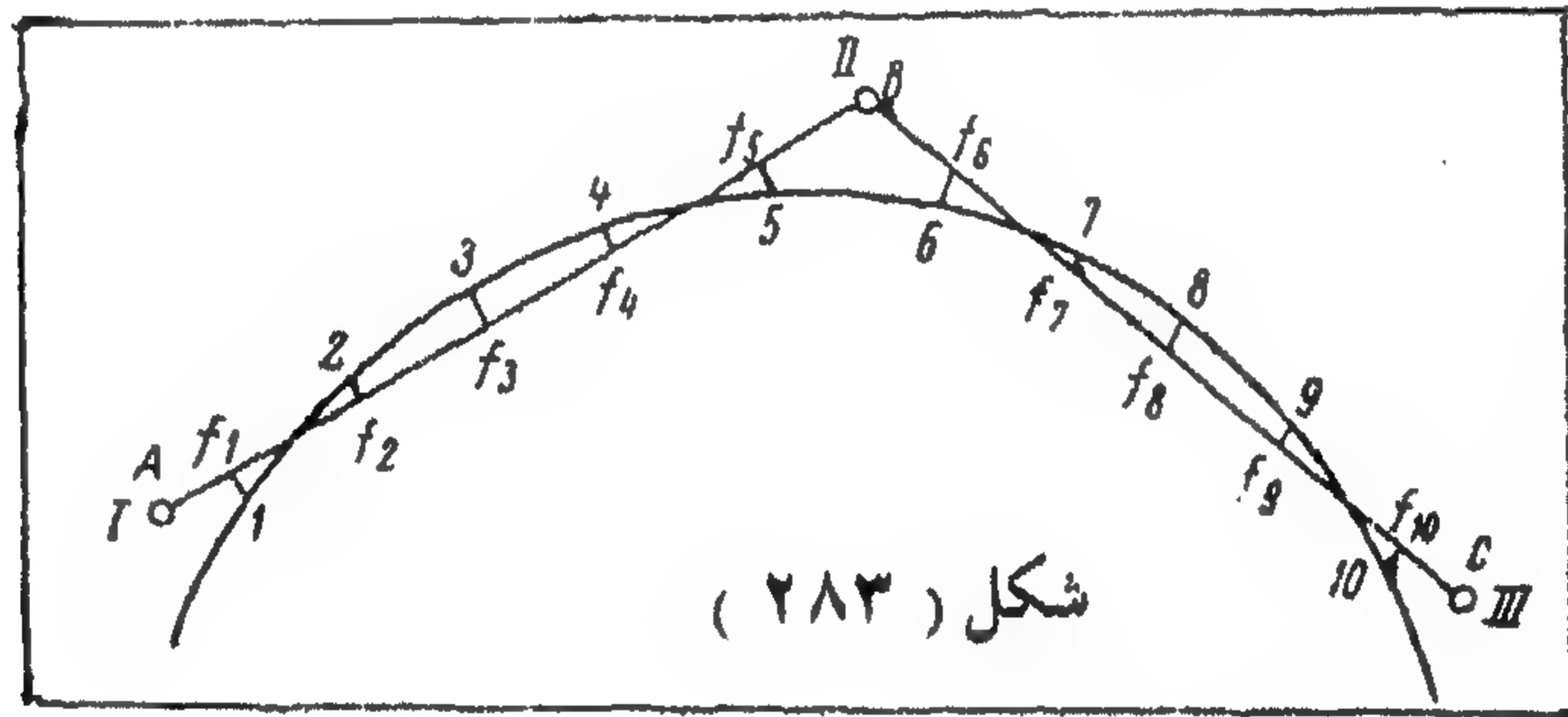




خاص مع الأخذ في الاعتبار أن هذه الأحداثيات مركزية حيث أن القامة المرتكزة أفقياً على تاج القضيب ترتكز عمودياً على القضيب نفسه . تقارن نتائج القياس بنتائج حساب هذه الأحداثيات المحسوبة من واقع البيانات التصميمية للمنحنى وإذا كانت هناك فروق ملحوظة يجرى تعديل الأنحاء في الموقع .

#### ب - طريقة لوتر :

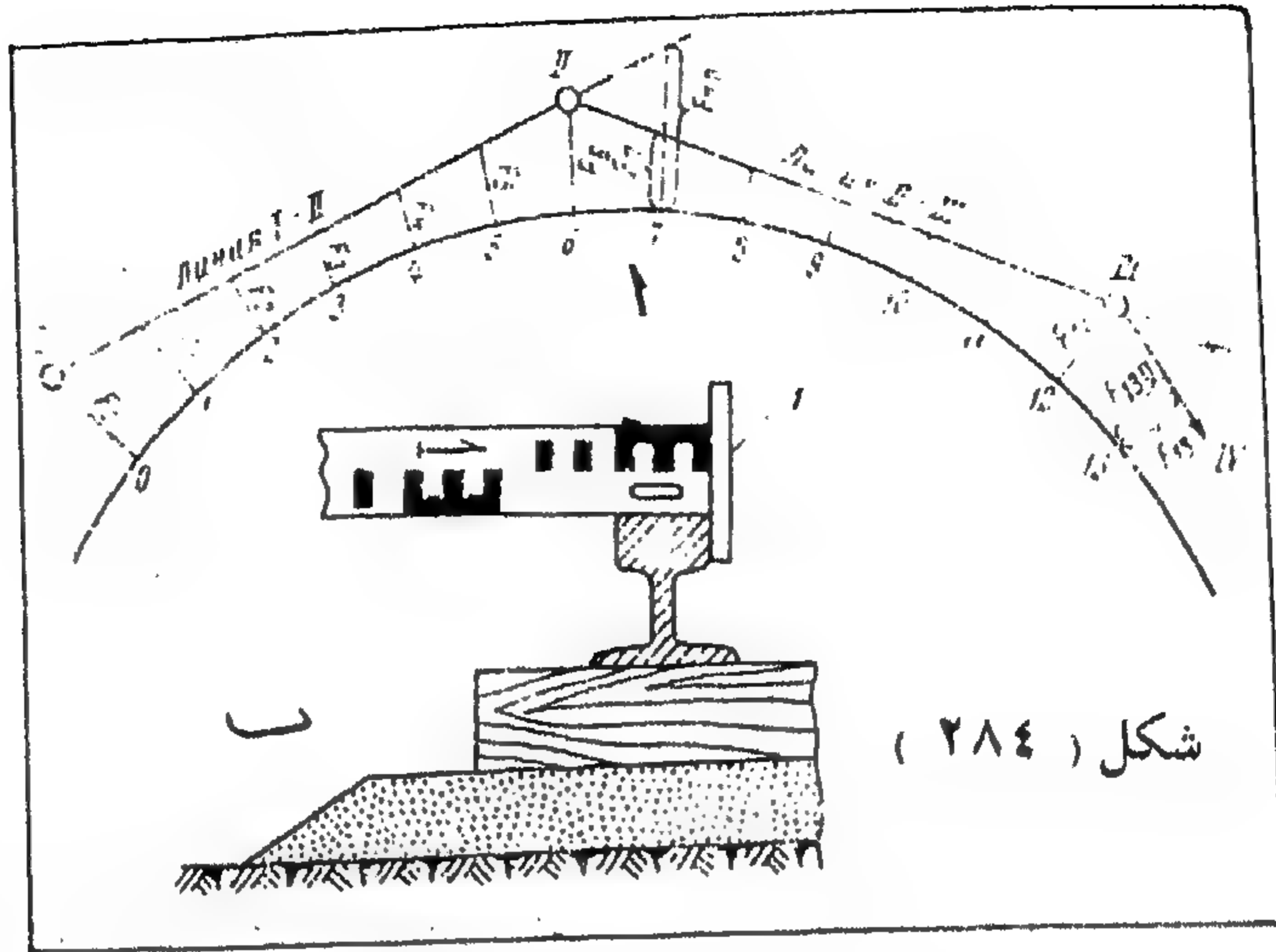
في هذه الطريقة لا تؤخذ الأحداثيات عمودية على القضيب ومن وتر في المنحنى إنما تؤخذ عمودية على وتر يصل نقط خارج المنحنى وعلى بعد لا يقل عن ٢ متر من محور السكة كما هو موضح في شكل (٢٨٣) ويمتاز العمل بهذه الطريقة أنه لا داعي لرفع التيودوليت من موقعه عند مرور القطارات عكس طريقة جونيكبرج التي يلزم عند العمل بها توقف مسير القطارات .



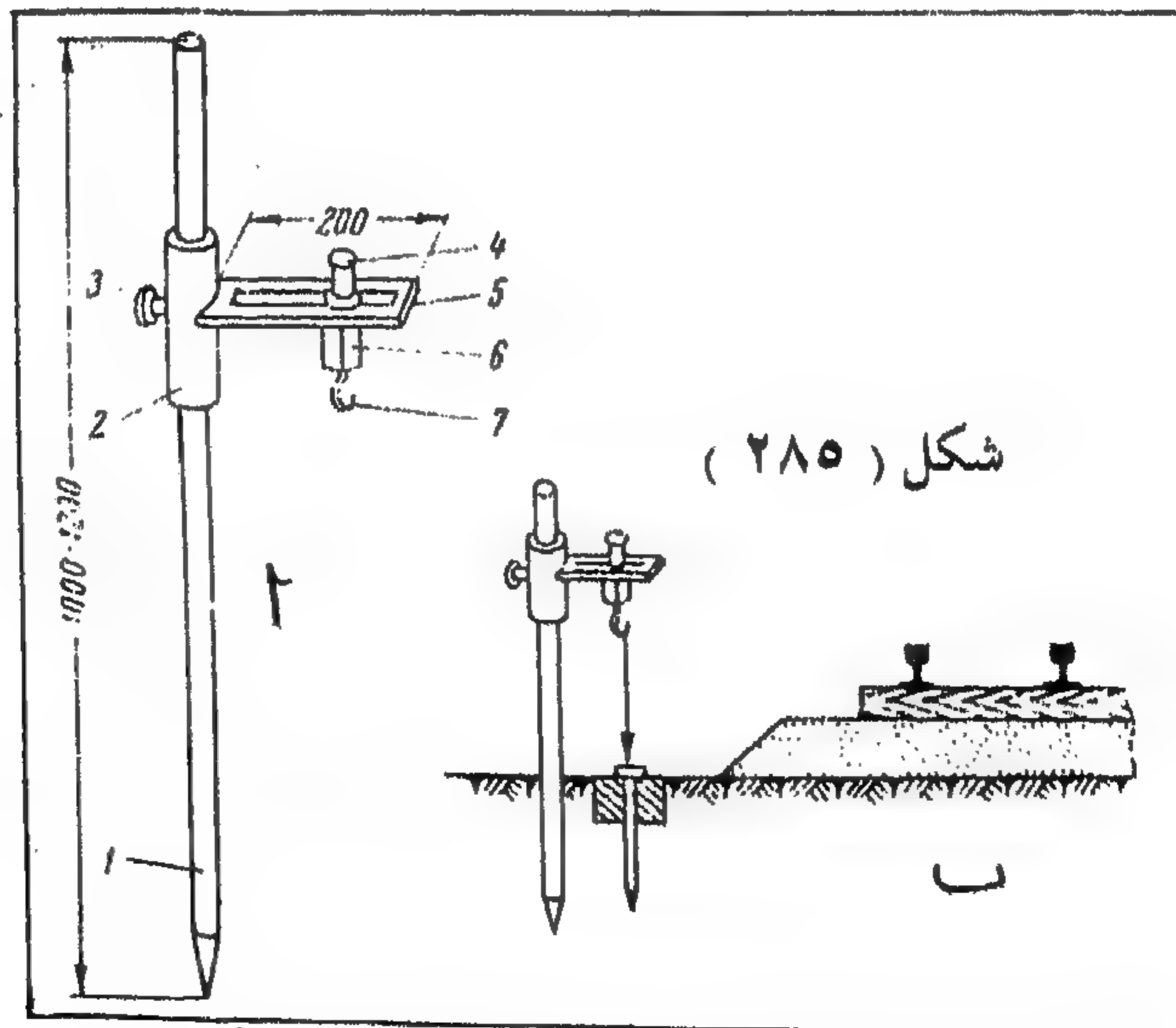
#### ج - طريقة النقط الثابتة :

وتعتبر من أدق الطرق وفيها توضع علامات بالبوية على تاج القضيب من الداخل كل ٥ أو ١٠ متر وتعطى هذه العلامات أرقام صفر ، ١ ، ٢ ، ... كما هو موضح في شكل ( ٢٨٤ - ١ ) . أمام نقطة صفر وكذلك أمام النقط التي تتباعد عن بعض مسافات ٦٠ - ٨٠ متر تثبت نقط على مسافات لا تقل عن ٢ متر خارج القضيب المنحنى كما في الشكل ذلك إذا كان خط السكة الحديد مفرد - أما إذا كان الخط مزدوج فتكون النقط الثابتة خارج السكة الخارجية وبين السكتين وعلى المحور حتى نتحاشى رفع التيودوليت أثناء مسير القطارات .





وفي هذه الطريقة يستخدم تيودوليت وقامة ميزانية مدرجة الوجهين ومثبت في نهايتها لوح من الخشب عمودي عليها كما هو واضح في شكل ( ٢٨٤ - ب ) . بالإضافة إلى ذلك تستخدم علامات رصد خاصة كالموضحة في شكل ( ٢٨٥ - أ ) والتي يسهل رفعها أو خفضها بأنزلاقها على قضيب معدني يسهل تثبيته رأسياً بجوار النقطة الثابتة كما يسهل أيضاً تحريك العلامة فوق النقطة الثابتة كما هو موضح في شكل ( ٢٨٥ - ب ) .

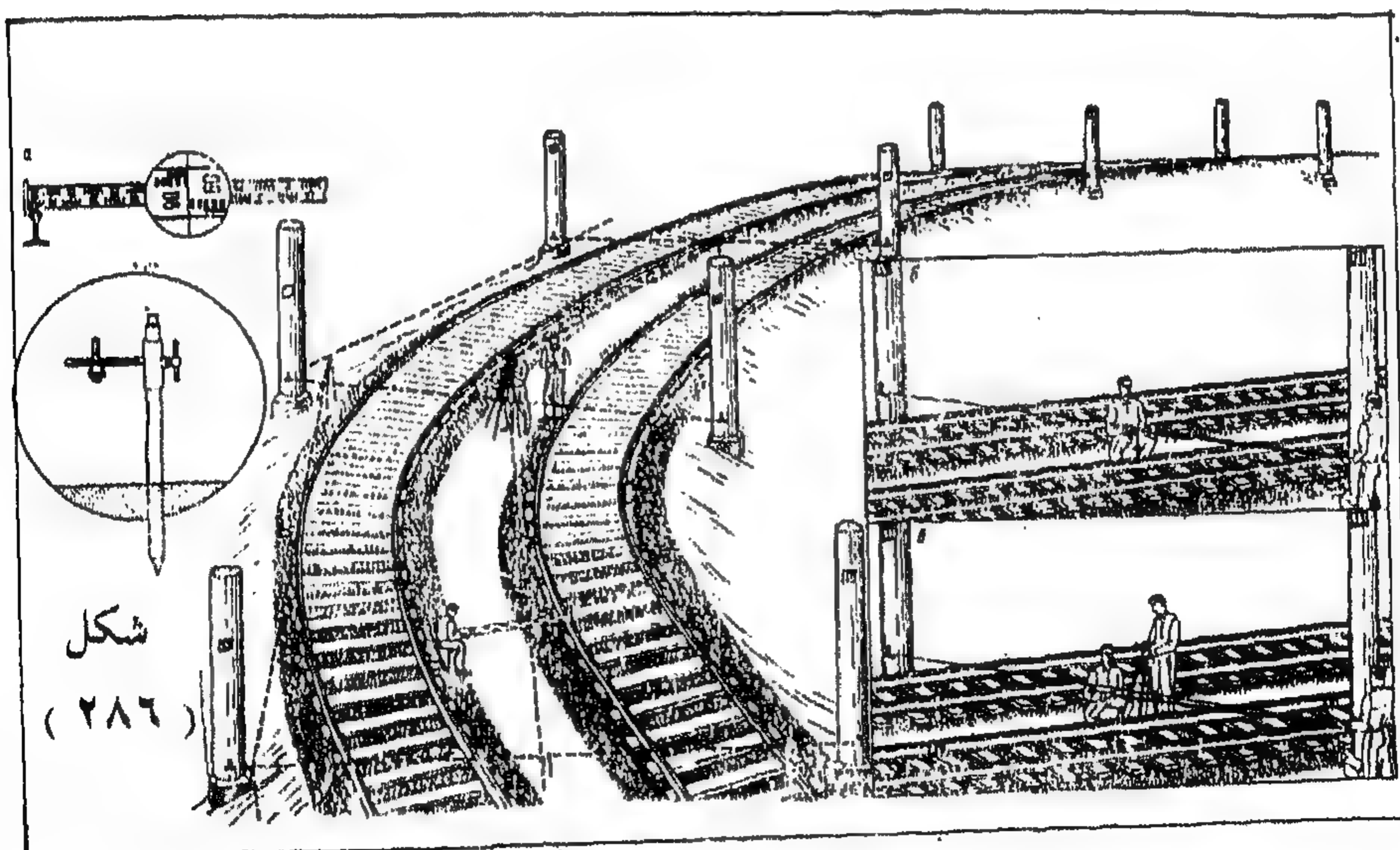




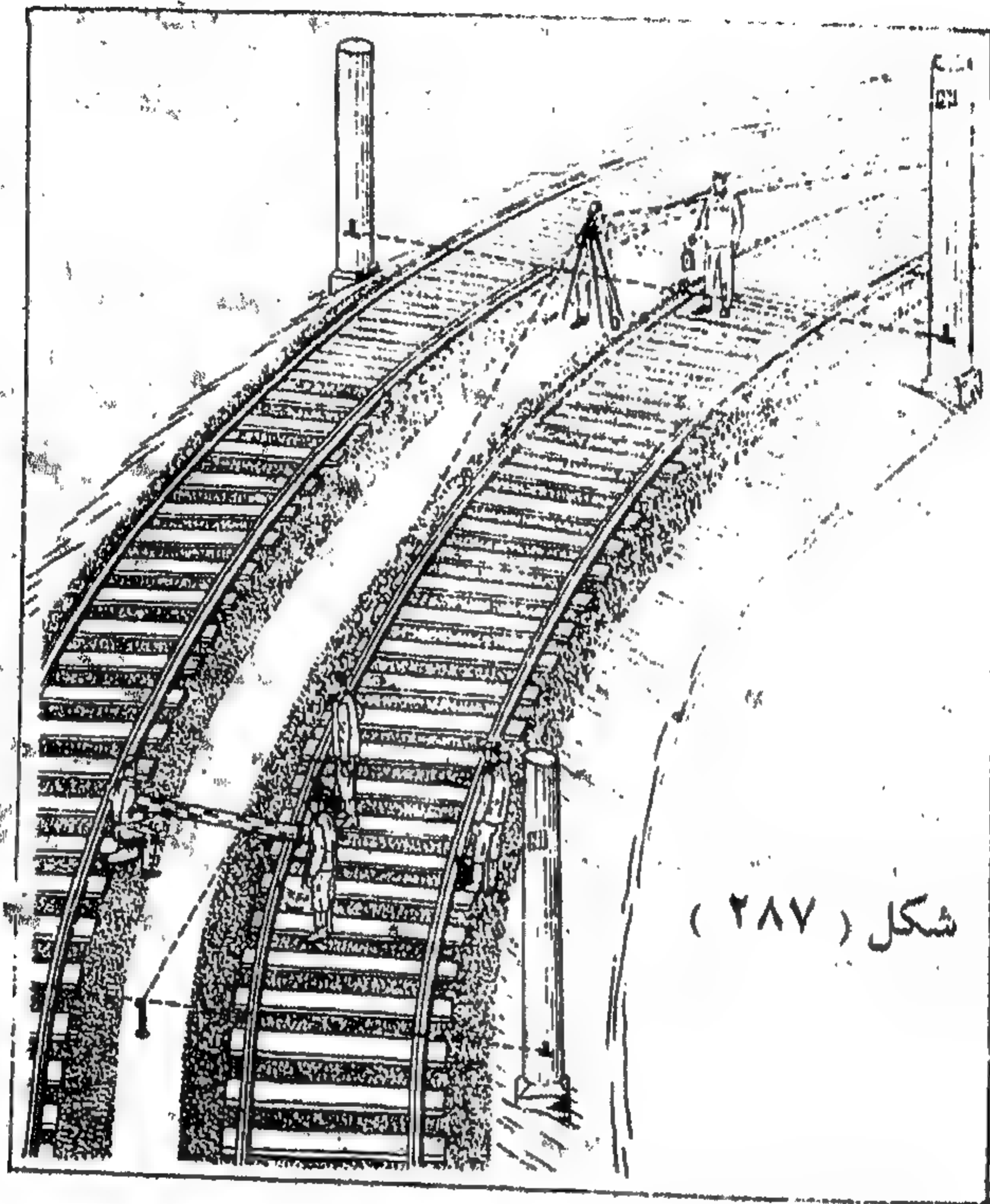
ولأجراء التحقق من صحة الانحناء تثبيت علامتا رصد فوق النقط I ، III ، وتيودوليت فوق النقطة II كما في شكل ( ٢٨٥ - ١ ) . يوجه اليداد التيودوليت إلى نقطة I ويثبت هذا الاتجاه ثم تركز القامة على تاج القضيب من الداخل بحيث يصبح وضعها أفقياً ومركزياً وذلك عند النقط ١ ، ٢ ، .... ، ٥ على الترتيب وفي كل مرة تؤخذ قراءة القامة بواسطة الشعرة الرأسية لأليداد التيودوليت فنحصل على الأحداثيات  $F_1$  ،  $F_2$  ، .... ،  $F_5$  ،  $F_6$  ، ... والمقابلة للنقط الثابتة نحصل عليها كقراءات مباشرة بالقامة .

بعد الحصول على هذه الأحداثيات ينقل التيودوليت إلى نقطة III وعلامات الرصد فوق النقط II ، IV ونحصل من جديد على الأحداثيات للمخط III - II ونأخذ المتوسط من نتائج الأرصاد . وشكلا ( ٢٨٦ ) ، ( ٢٨٧ ) يبينان رسمين توضيحين لأجراء التحقق من انحناء خط سكة حديد مزدوج بطريقة النقط الثابتة .

نقارن بعد ذلك قيم الأحداثيات المرصودة والأحداثيات المحسوبة من واقع البيانات التصميمية للمنحنيات .







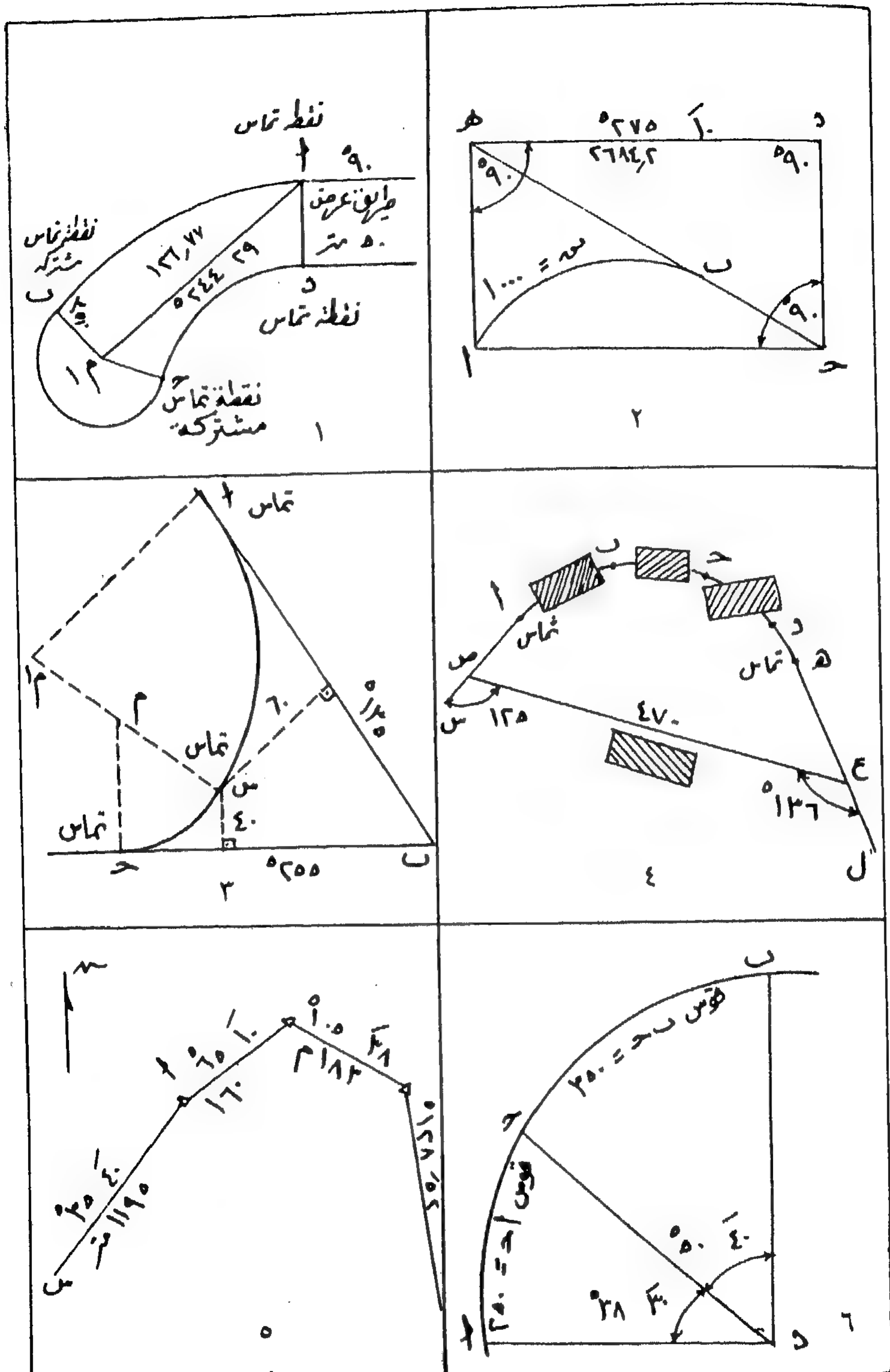
شکل ( ۲۸۷ )



## مسائل عامة متنوعة

- ١ — الشكل بين ميدان نهاية خط للسيارات . أوجد نصفى قطرى المنحنيين  $ا ب$  ،  $ح د$  ، أطوال الأقواس  $ا ب$  ،  $ب ح$  ،  $ح د$  .  
 $ا ب : ح د = ٣ : ٤$  ،  $٣٧٨,٥ = ح د$  ،  $١٥٠,٠ = ا ب$  ، الأقواس  $ا ب = ١٢٨,٥$  ،  $ب ح = ١٢١,٤$  .
- ٢ — من الشكل المطلوب إيجاد طول المنحنى  $ا ب$  ، والمسافتين  $ه ب$  ،  $ب ح$  . إذا علم أن انحراف  $ه ح$  عند  $ب$  ، يمر بنقطة  $ا$  .  
 ج — القوس  $ا ب = ١٧٤١,٢$  ،  $ه ب = ١٥٥١,٨$  ،  $ب ح = ١٤٣٠,٤$  .
- ٣ —  $ا$  ،  $ح$  نقطتا تماس على  $ا ب$  ،  $ب ح$  ، من نقطة التماس المشتركة القوسين  $ا س$  ،  $ح س$  بنصفى قطرين مختلفين .  $م$  ،  $١ م$  ،  $م$  مركزا القوسين .  
 أحسب طول نصفى القطرين .  $١ م$  ،  $م$  ،  $س$  ،  $ب$  على خط مستقيم واحد .  
 (  $ا س : ١٤٨,٥$  ،  $س ح : ٦٦,٢٧$  ) .
- ٤ — وصل الخطان  $س ص$  ،  $ل ع$  بمنحنى نصف قطره ٢٠ متر . ولم يمكن الوصول إلى كل من نقطة تقاطع الخطين أو مركز المنحنى الذى يمر خلال المبانى كما فى الشكل . الأقواس  $ا ب$  ،  $ب ح$  ،  $ح د$  كل منها ١٠ متر .  
 أحسب طول  $ا ص$  ،  $ه ع$  ، طول الوتر  $ه د$  . بين كيف توقع الأوتار عند  $ب$  ،  $ح$  ،  $د$  .
- ٥ —  $ا ب$  ،  $ب ح$  تمثل ترافرس موصل بين  $س ا$  ،  $ص ح$  .  
 ا — أوجد نصف قطر المنحنى الذى يمس الخطين  $س ا$  ،  $ص ح$  ويمر بنقطة  $ب$  . ج —  $٢٤١,١٧ = ح د$  .  
 ب — إذا أعطيت  $س$  كنقطة أصل للعملية المساحية . أحسب تدريج كل من نقطتى التماس ونقطة  $ب$  . (  $١٥٤٨,٢٤$  ،  $١١٥٥,٩٤$  ) .
- ٦ —  $ا$  ،  $ح$  ،  $ب$  ثلاث نقط على محيط دائرة نصف قطرها ٢٥٠ م طول القوس  $ا ح = ٢٥٠$  متر ، القوس  $ح ب = ٣٥٠$  متر . أوجد طول البعد  $د ح$  . ج —  $٣٨٤,٨٢ = ح د$  .







٧ — وقع منحني دائري نصف قطره ٣٠٠ متر بين نقطتي أ ، ب . يراد تعديله واستبداله بمنحني بنصف قطر أكبر يمر بنقطة هـ التي تبعد بمقدار ١٠ أمتار أسفل ح قمة المنحني الأول . أوجد نصف قطر المنحني المقترح والمسافة و د لنقطة التماس . ج — ٣٩٦.٧٣ . . . ١٨٥

٨ — قطعة أرض محددة بالمماسين س أ ، س ب ، المنحني الدائري ب هـ أ ، يراد تعديل الحدود بحيث تصبح المثلث س ص ع ، وتظل المساحة بدون تغيير ويكون طول الحد س ص = ٧٠٠ متر . أوجد مقدار امتداد الحد أ ص .

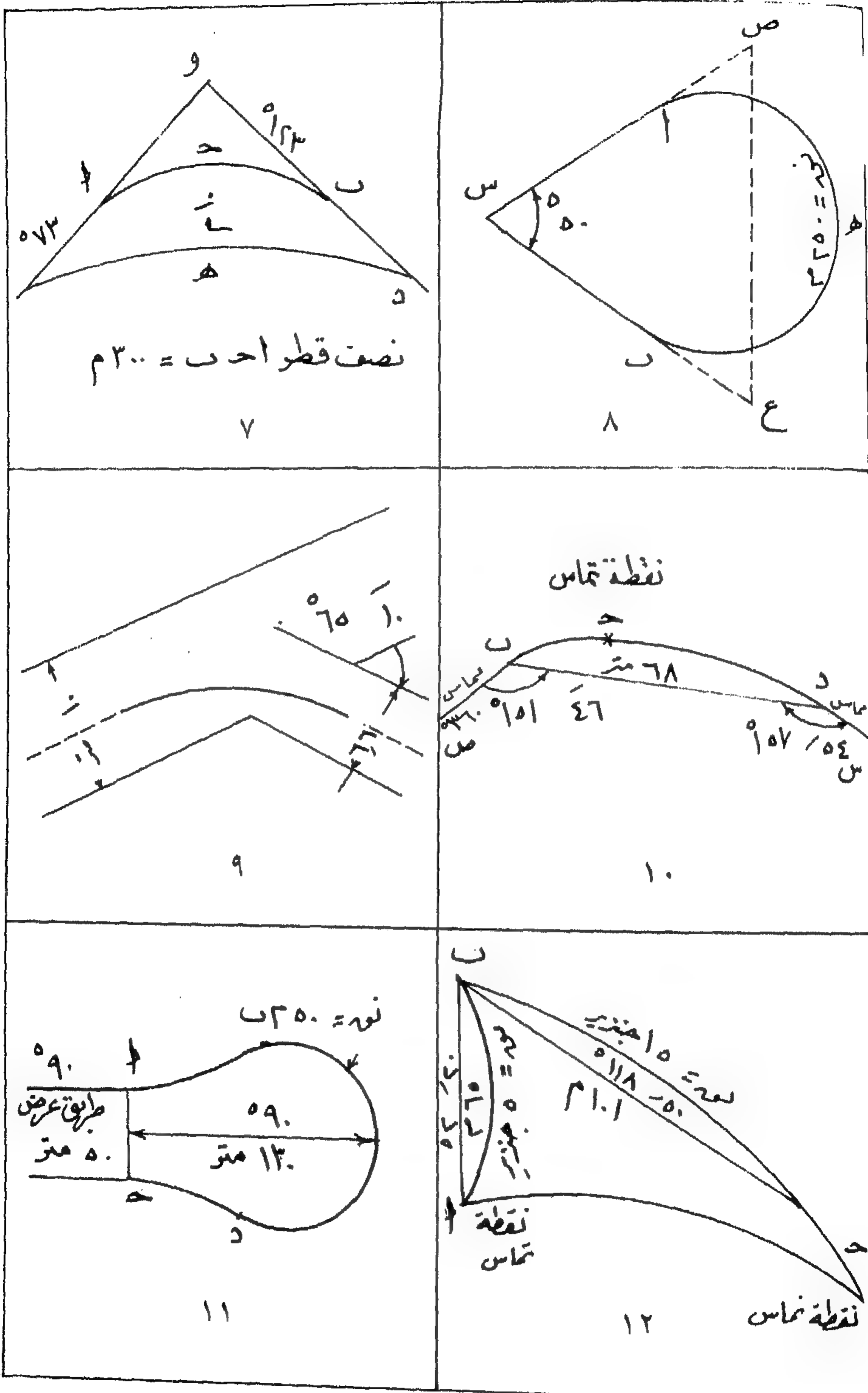
٩ — طريقان عرضاهما ١٠ ، ٦,٦ مترا يتقاطعان في زاوية قدرها ١٠° . يراد إنشاء خط ترام على إتجاه محورهما ويصلهما منحني دائري يبعد عن الركن أ بمقدار ٢,٥ متر مقاسة في إتجاه قطري بالنسبة للمنحني ما مقدار نصف قطر المنحني .

١٠ — ب ح منحني دائري موجود نصف قطره ٥ جنازير ومماس للخط ب ض عند ب . د س خط مستقيم موجود حددت عليه نقطة التماس د . أحسب نصف قطر المنحني الدائري د ح الذي له مماس مشترك مع المنحني الأول ب ح عند ح . أحسب أيضاً أطوال المنحنيين ب ح ، ح د ، انحراف الوترين ب ح ، ح د .

١١ — الشكل يبين محطة نهاية لترام بمنحني نصف قطره ٥٠ مترا . يراد إيصال الطريق بمنحنيين توسيع أ ب ، ح د . أوجد نصف القطرين أ ب ، ح د .

١٢ — من الشكل أوجد نصف قطر المنحني أ ح .







١٣ — المنحنيان الدائريان ا ب ، ا د يتماسان عند ا . فإذا كان طول ا ب = ٢٠٠ متر فما طول المنحني ا د علماً بأن نصف قطر ا ب = ٤٠٠ متر .

ج — ا = ١٢٢,٨٦ .

١٤ — المنحنيان ا ب ، ب ح يتقاطعان في ب . ب س ، ب ص مماسان للمنحنيين عند ب . س ب ص = ٢٠ ' ٥٢٢ . ا ح على خط المركزين . أحسب الفرق بين طولي المنحنيين . أحسب أيضاً نصف قطر المنحني ب ح .

ج — الفرق = ٣٤,٧٩ .

١٥ — ا ، ح نقطتا التماس على ا ب ، ب ح . س نقطة التماس المشتركة بين القوسين ا س ، س ح . نصف قطر المنحني ا س = ٥٠٠ متر . أوجد نصف قطر المنحني س ح ، الطول الكلي للقوسين معاً .

س = ٩٩٩,٩٩٣ ، ١٤١٥,٤ م .

١٦ — ركن شارع أنشئ فيه منحنى مركب ا ح ب مماساه ، ا د ، ب د . المنحني ا ح طوله ١٥٧,٠٨ ونصف قطره ٣٠ وطول المماس ا د = ١٧٥ وانحرافه ٥٩٠ ' ٠٠ وانحراف د ب = ٥١٤٤ ' ٠٠ . أوجد طول د ب ، ونصف قطر المنحني ب ح ، وطول القوس ب ح .

ج — ب د = ٢٢٤,١ ، نصف قطر ب ح = ٥٠٧,١٦ ، ب ح = ٢١٢,٤ .

١٧ — من المعلومات المبينة أحسب المساحة المظللة .

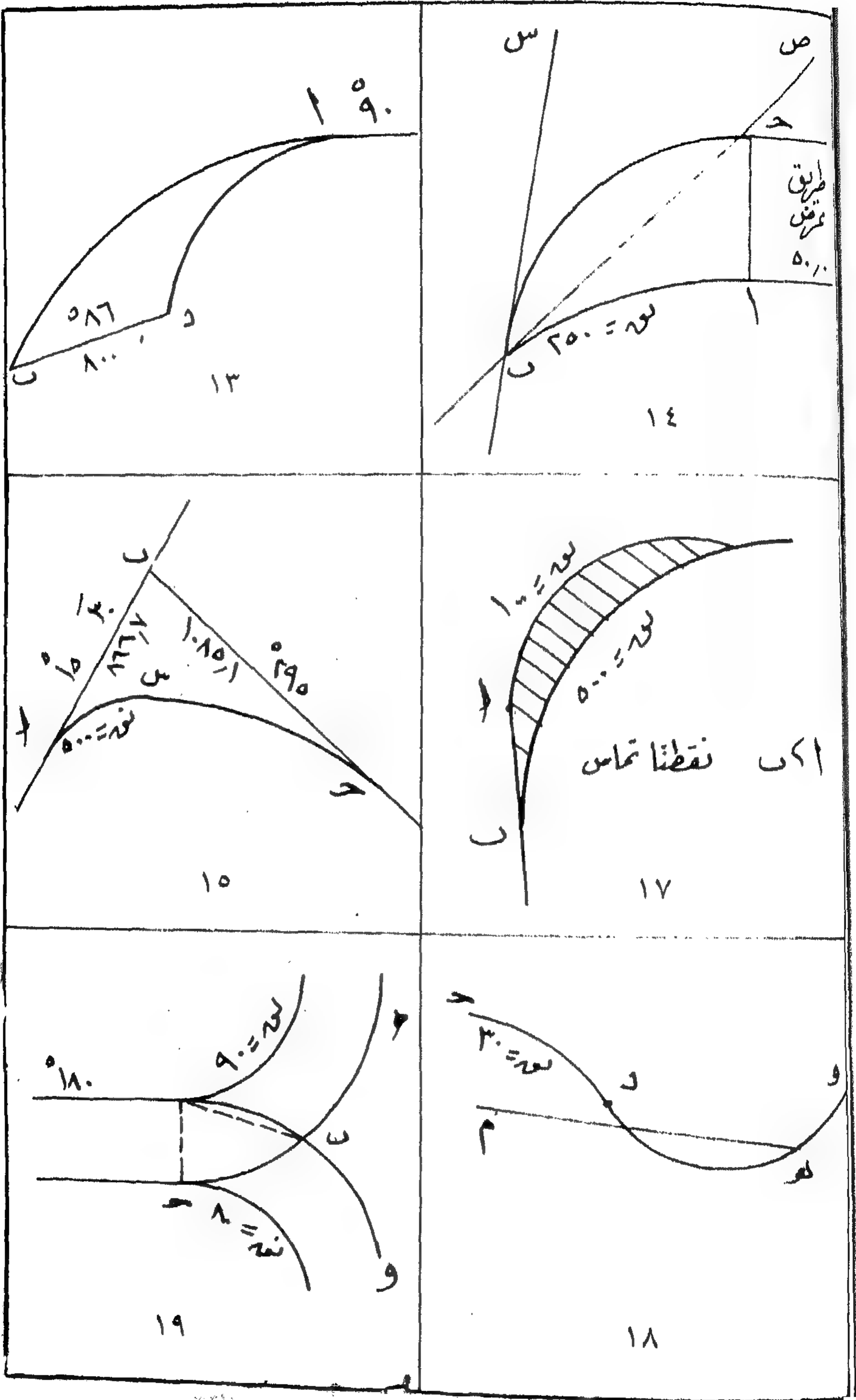
١٨ — ح ب د يراد إبعاده بالخط المستقيم ه و بمنحني عكسي د ه . د ليست من الضروري أن تكون على الخط م ه ، م هي مركز المنحني ح ب د ونصف قطره ٣٠ جنزيراً . انحراف ه م = ٣٠ ' ٥٣٠,٨ وطوله ٥٨,٤١٥ جنزيراً . انحراف ه و = ٥٩٠ . أوجد نصف قطر المنحني ه د .

ج — س = ١٩,٠٣ .

١٩ — طريق عرضه ١٠,٠ متراً يتفرع عند ا ب إلى طريقين منحنيين كما في الشكل : انحراف محور الطريق المستقيم ٥١٨٠ ' ٠ . ا ، ح نقطتا التماس من المعلومات المبينة . أحسب انحراف وطول ا ب .

ج — طول ا ب = ٣٠,٨٢٢ ، انحرافه = ٣٤ ' ٥١ ' ٥٩ .







٢٠ - ا د ، ا ه مماسان لميدان مستدير مركزه ح . الزاوية ح ب ه =  $542^\circ$  ، الزاوية ه ا و =  $5156^\circ$  ، ا ب = ٣٣٣ . ما نصف قطر الميدان .  
ج - ح = ٩٤,٨٢ .

٢١ - ا د ب منحنى عكسى يقطع الطريق المستقيم ا ب في ا ، ب . د نقطة التماس المشتركة . نصف قطر المنحنى ا د = ٣٠٠ ، ونصف قطر د ب = ٤٠٠ متراً . فإذا كان انحراف وطول الوتر د ب هي  $5172^\circ$  ، ١٠٠ متراً وانحراف ا ب =  $5136^\circ$  . أوجد المساحة المحصورة بين المنحنى العكسى ا د ب والخط المستقيم ا ب .

٢٢ - ا ب ، ح د خطان مستقيمان بحيث أن ا ، د على جانبي مماس مشترك ب ح ، يراد إكمال الخطين بمنحنى عكسى نصف قطره ح .

فإذا فرض أن الزاويتين ا ب ح ، ب ح د هما  $5148^\circ$  ،  $5139^\circ$  على الترتيب وطول ب ح يساوى ١٦,٢٨ جنزيراً . أوجد نصف القطر المشترك وتدرج نقطتى التماس ونقطتى التماس المشتركة . الاتجاه من ا إلى د وتدرج ب = ١٤٥,٢٠ جنزيراً .

ج - ح = ٢٥ ، ١٣٨,١١٨ ، ١٥١,٨٥٩ ، ١٦٩,٦٠١ جنزير .

٢٣ - منحنى ا ب ح نزع ملكية الجزء المحصور بين الوتر ب ح والمنحنى . أوجد مساحة هذه القطعة من المعلومات المبينة فى الشكل .

٢٤ - الشكل يبين مساحة مظلة يراد اقتطاعها من قطعة الأرض من مجموعة المباني لإنشاء طريق بواسطة منحنى نصف قطره ٦٠٠ متراً . من المعلومات المبينة أوجد طولى القوسين ا ح ، ب ح ، المسافة ا ب على حدود المجموعة . الانحرافات مبينة فى الشكل .

لج - القوس ا ح = ٣٠,٩٧ م ، القوس ب ح = ١٩,٧٢٥ م ، ا ب = ١٤٠ م .

٢٥ - من المعلومات المبينة فى الشكل أوجد نصفى قطرى المنحنيين ا ب ، ب ح ، وطولى القوسين ا ب ، ب ح . انحراف د ب =  $5327^\circ$  وطوله ١١٢,٣٨ م ، وانحراف د ح =  $577^\circ$  .

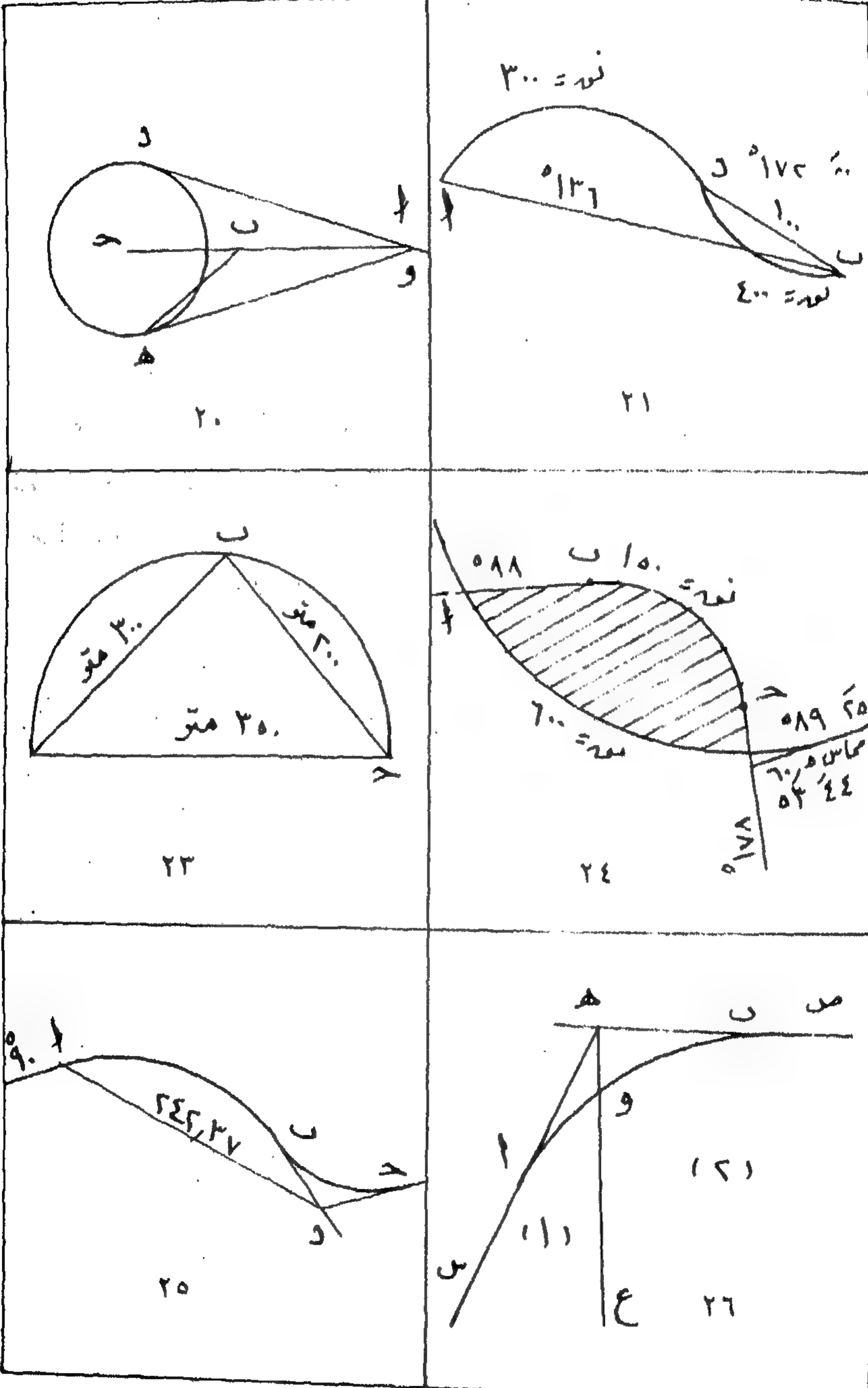
ح ا ب ، ب ح = ١٤٢,٥٢ ، ١٦٠ ، القوس ا ب = ١٤٣,٨٦ م ، القوس ب ح = ١٩٠,٩٤ م .

٢٦ - س ه ، ه ص طريقان يحدان القطعتين (١) ، (٢) على الترتيب .

يراد إدخال المنحنى ا ب الذى يمس الحدين عند ا ، ب . أوجد نصف قطر المنحنى الذى يمر بنقطة و التى تقع على الحد الفاصل بين القطعتين وتبعد بمقدار



٩,٧٥ م عن ه علماء بأن انحراف س ه = ٥٣٠ ، ه ص = ٥٩٠ ، والحد  
ه ع = ٣٠ ' ٥١٨٤ . ج - ح = ٤٩,٩٦ م .





٢٧ — في الشكل ا ، ب ، ح ، د نقط التماس من المعلومات المبينة أوجد انحراف ب ح . ج — انحراف ب ح = ٥١٣٤ ' ١٣ .

٢٨ — منحنيات عكسية نصف قطر كل منها ٣٠,٠ م يراد تخطيطه لتفادي العقبة عند ح بمقدار ١٥ متراً تماماً . أوجد المسافة ا ب .

ملحوظة : ( ا ب س خط مستقيم ، من ح إلى قمة المنحنى عمودية على هذا الخط ) . ج — ا ب = ٨٥,٣١ م .

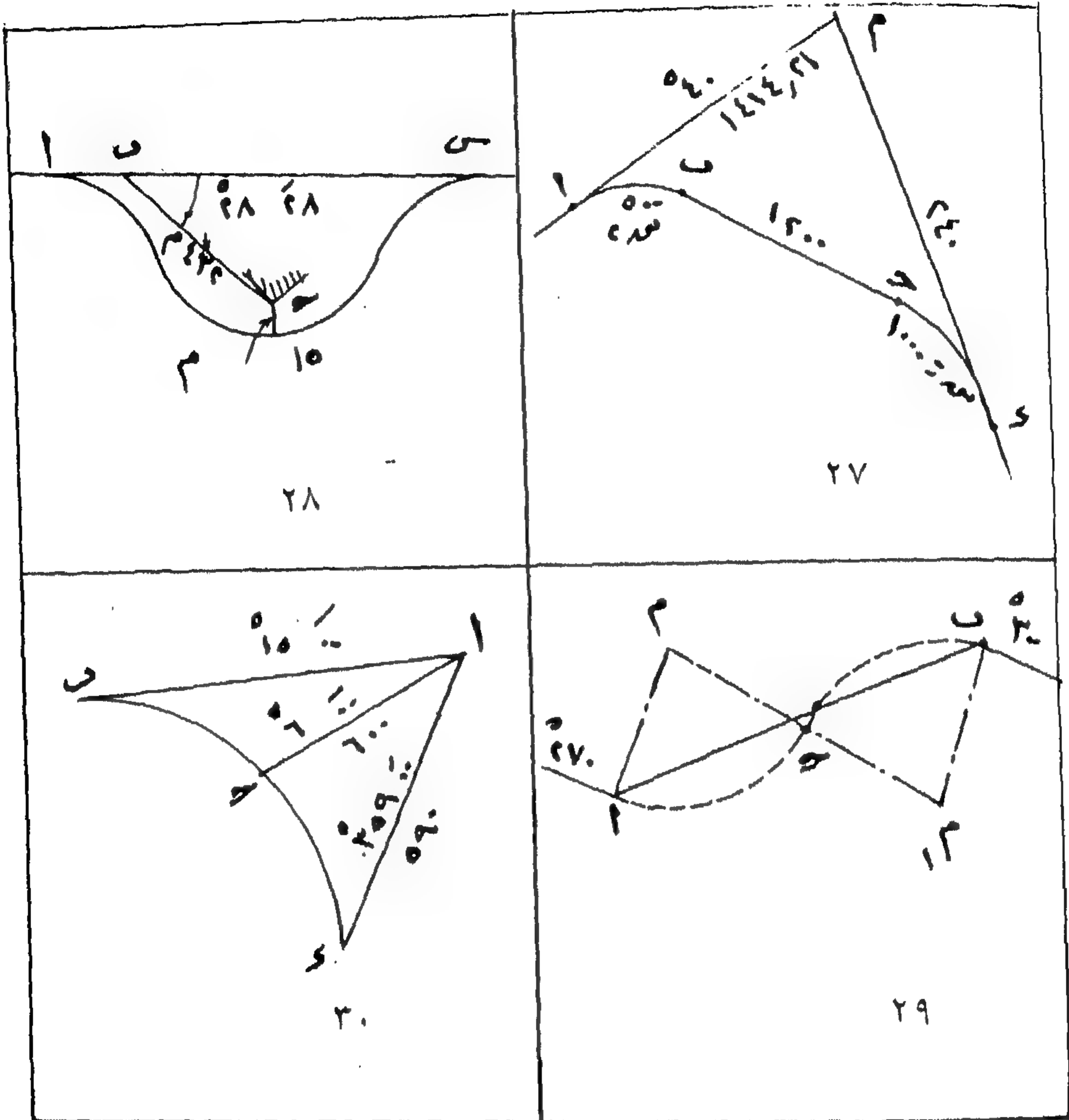
٢٩ — ا ب نقطتا تماس ثابتان . طول وانحراف ا ب هو ٣٦٣,٣ قدماً ، ٣٠ " ٢٤ ' ٥٢٥٩ . يراد إيصال ا ب بمنحنى عكسي بنصفى قطرين متساويين ( م ح = م ا ح ) ما طول نصف القطر . ج — ح = ٢٠٠ .

٣٠ — يراد إيصال ا ب ، ا د بمنحنى دائري يمر بنقطة ح . أوجد نصف قطر المنحنى وطول ا ب . لو كان انحراف ا ب = ٥٥١ ، ا ح = ٥٦٣ وطوله ٢٧٥ لإنحراف ا د = ٥٩٠ كم يكون طول نصف القطر ا ب ( ح = ٣٧٨٩ ، ا ب = ١٣٤,٨ ) . ج — ح = ١٣٤,٨ ، ا ب = ٣٧٨٩ .

٣٠ مكرراً — ا ب ح د مضلع فيه الأطوال ا ب ، ح د هي ١٥٠ متر ، ٢٠٠ متر وطول ب ح غير معلوم وانحرافات ا ب ، ب ح ، ح د هي ٥٥ ' ٥٦٩ ، ٥٠٠ ' ٥٣٠ ، ١٠ ' ١٠٢ . من نقطة ه رصدت ا ، ب ، ح ، د فكانت الزوايا ا ه ب ، ب ه ح ، ح ه د على التوالي ٣٠ ' ٥٢٠ ، ٣٠ ' ٥١٦ ، ٥٤١ ' ٠٠ أحسب طول ب ح ، انحراف كل من ه ا ، ه ب ، ه ح ، ه د .

٣٠ مكرراً — ب س ح خط أفقى مستقيم طوله ٨٠ جنزير . ب س = ٣٠ جنزير ، س ح = ٥٠ جنزير . رصدت قمة جبل ( م ) من ب ، س ، ح فكانت زوايا الارتفاع ٣٠ ' ٥٥٤ ، ١٢ ' ٥٥٦ ، ١٠ ' ٥٤٦ على الترتيب . ا نقطة أخرى احسب ارتفاع م ا فوق ب ، س ، ح إلى أقرب ديسمتر إذا علم أن الزوايا م ب ا = ٣٠ ' ٥٥٤ ، م س ا = ١٢ ' ٥٥٦ ، م ح ا = ١٠ ' ٥٤٦ .







٣١ - ا د ح ملعب سباق مستدير نصف قطره ١٠٠ متر ومركزه ب .  
من تيودوليت في ه قيست الزاوية ا ه ح بين المماسين فكانت ٥٤٠ . نقل  
الجهاز إلى و على ب ه فكانت الزاوية ا و ح = ٥٧٦ . ما بعد التيودوليت  
في و عن س تقاطع ا و مع الملعب .

٣٢ - من المعلومات المبينة في الشكل أحسب مساحة القطعة  
ا ب ح ه ا حيث ب ح عمودى على ا ب . ج - الجواب ٩٠,٨٣ .

٣٣ - مماسان ا ب ، ب ح يتقاطعان في زاوية ٣٠ ' ٥٦٣ . ا د ،  
د ه ، ه و ، و ح عبارة عن أربعة أوتار تقع على منحنى يمر بنقطتي ا ،  
ح . نصف قطره ٤٠٠ قدم . أحسب طول وانحراف كل من الأوتار إذا علم  
أن انحراف ب ح = ٣٠ ' ٥١٢٣ . ج - ١١٠,٤٧ .

٣٣ م - المساحة ا ب ح د محصورة بين طريقين والمنحنى نصف قطره  
جنزير واحد ٢٠ متر . مساحة القطعة عبارة عن فدان واحد وطول ح د =  
٤ جنازير . أوجد طول ا ب .

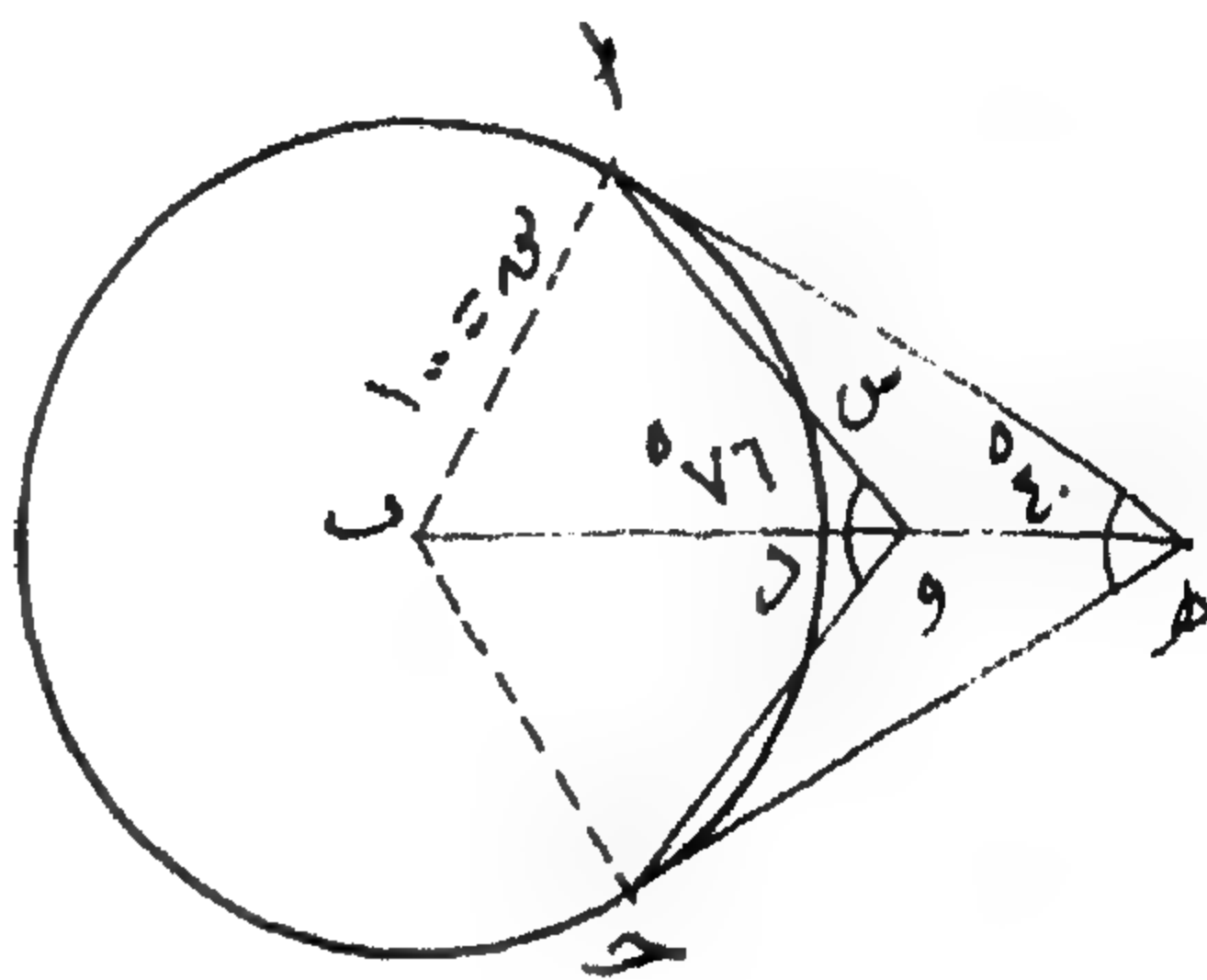
٣٤ - يراد إيجاد نصف قطر منحنى سكة حديد حيث ب نقطة التماس على  
المنحنى . قيست المسافتان ا ح ، ا د فكانتا كما في الشكل . أوجد نصف قطر  
المنحنى .

٣٥ - محورا خطى سكة حديد متوازيان يبعدان عن بعض ٣٠,٠٠ م كما  
في الشكل يراد إيصاليهما بمنحنيين نصف قطر كل منهما ٣٠٠ م وبينهما مسافة  
مستقيمة د ه . أوجد انحراف وطول د ه ، وطول كل من المنحنيين .

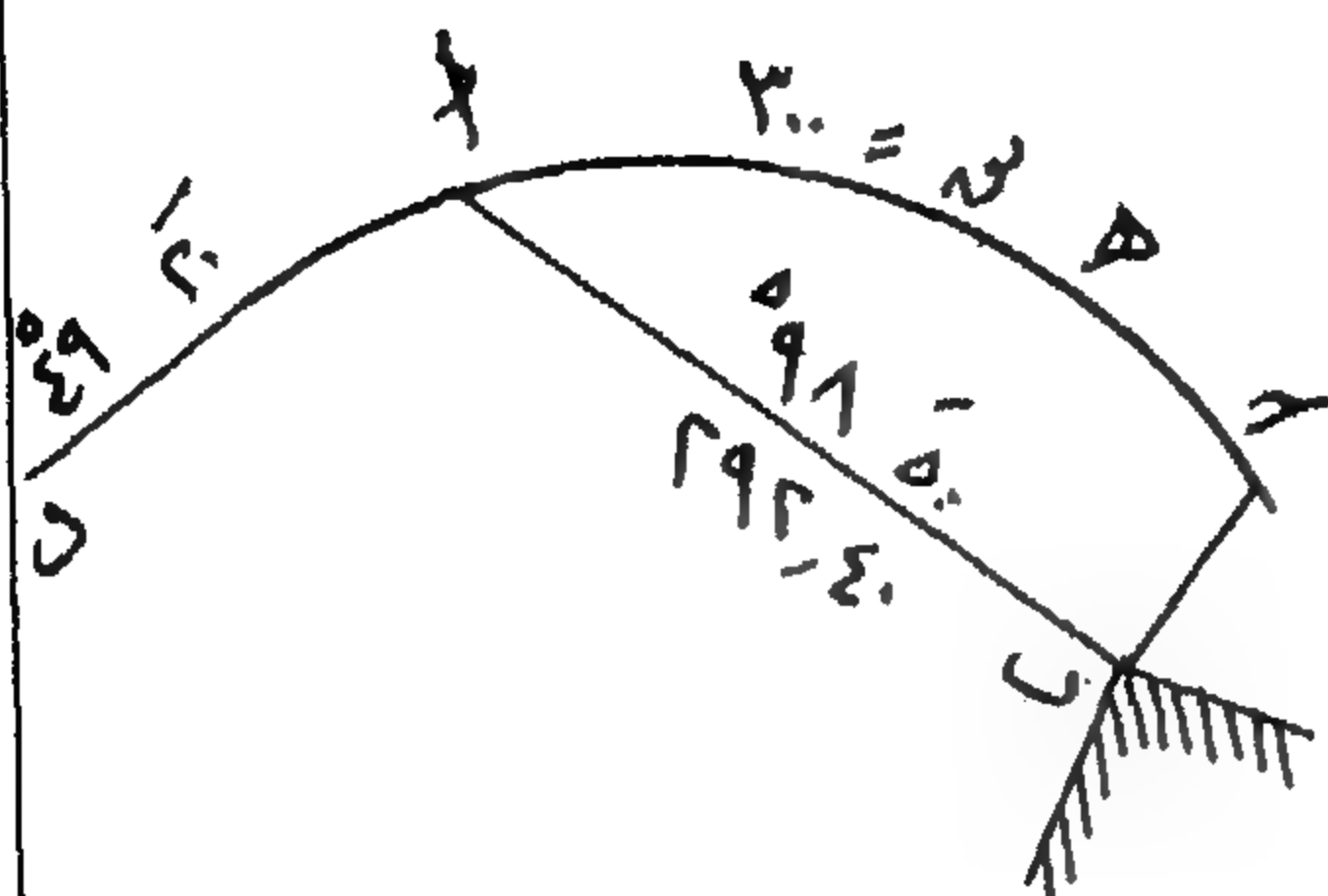
- د ه = ٣٠ " ٤٥ ' ٥٧٨ ، ٩٤,٨٦ م ، القوسين ٧٥,٦٦

٣٦ - منحنى نصف قطره ٣٠٠ متر وجدت أوتار عليه عند ا ، ب ،  
د . قيس طول الوتر ا د فكان ٦٩,٥٣ م فإذا قطع ب و الوتر ا د في ه  
بحيث أن ب ه = ١٤,٠ م ، ا ه = ١٧,٥ م . أحسب طول وانحراف الخط  
و ح اللازم لتعيين نقطة ح على المنحنى والتي تبعد ١٠ متر عن ب على  
المنحنى . ج - و ح = ٥٣ ' ٥٢٠٤ ، ٨٨,٩٣٧ م

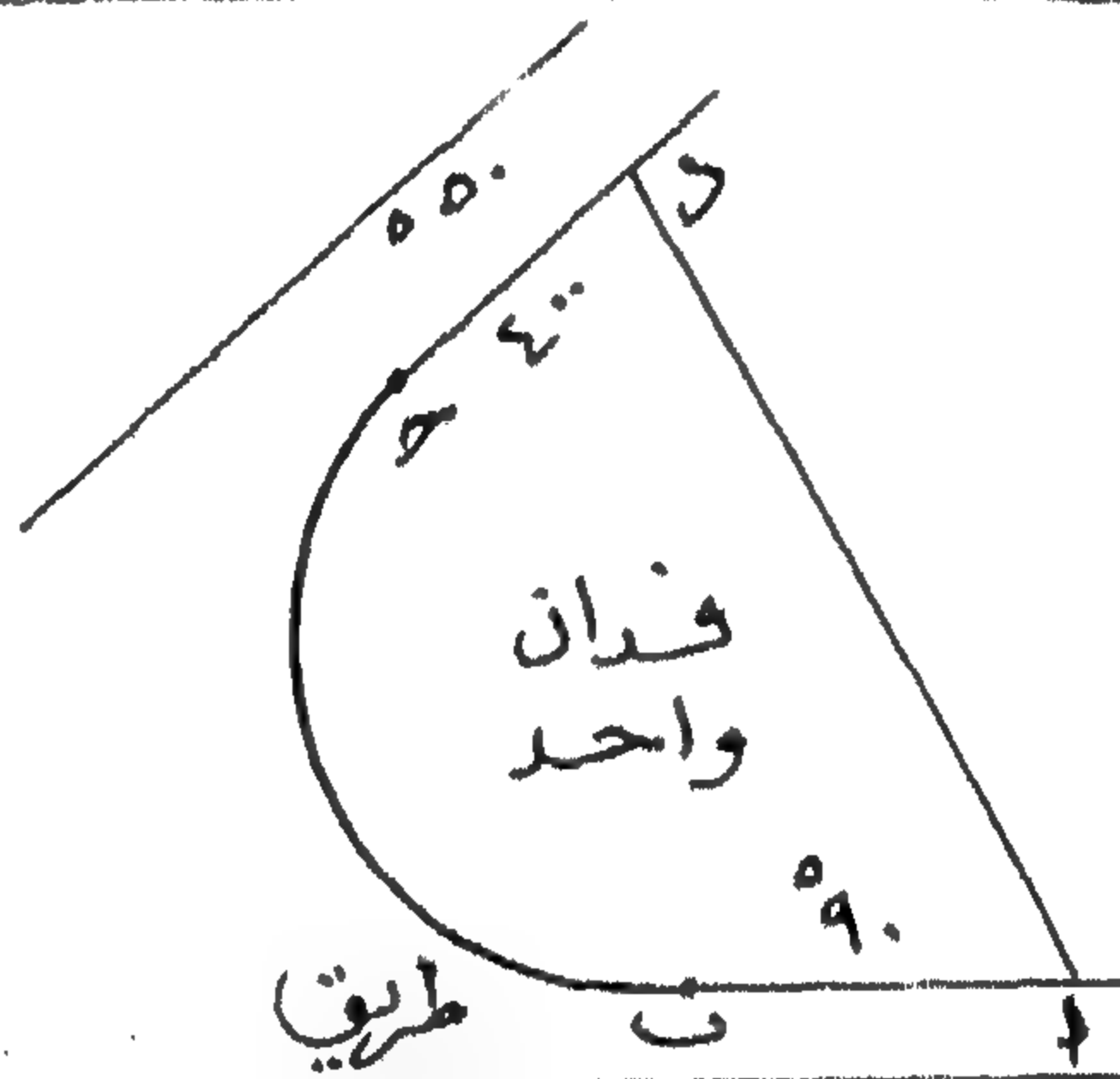




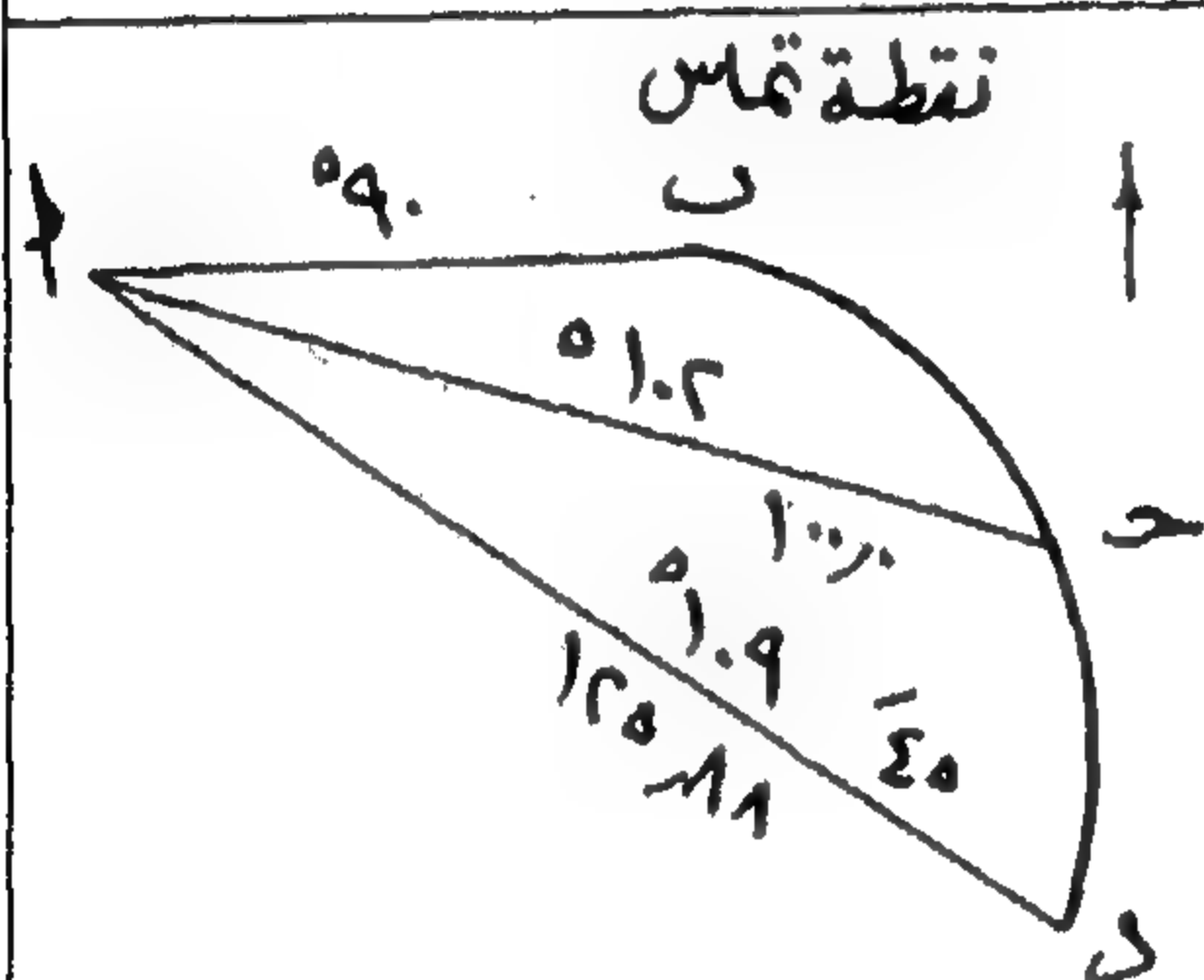
٣١



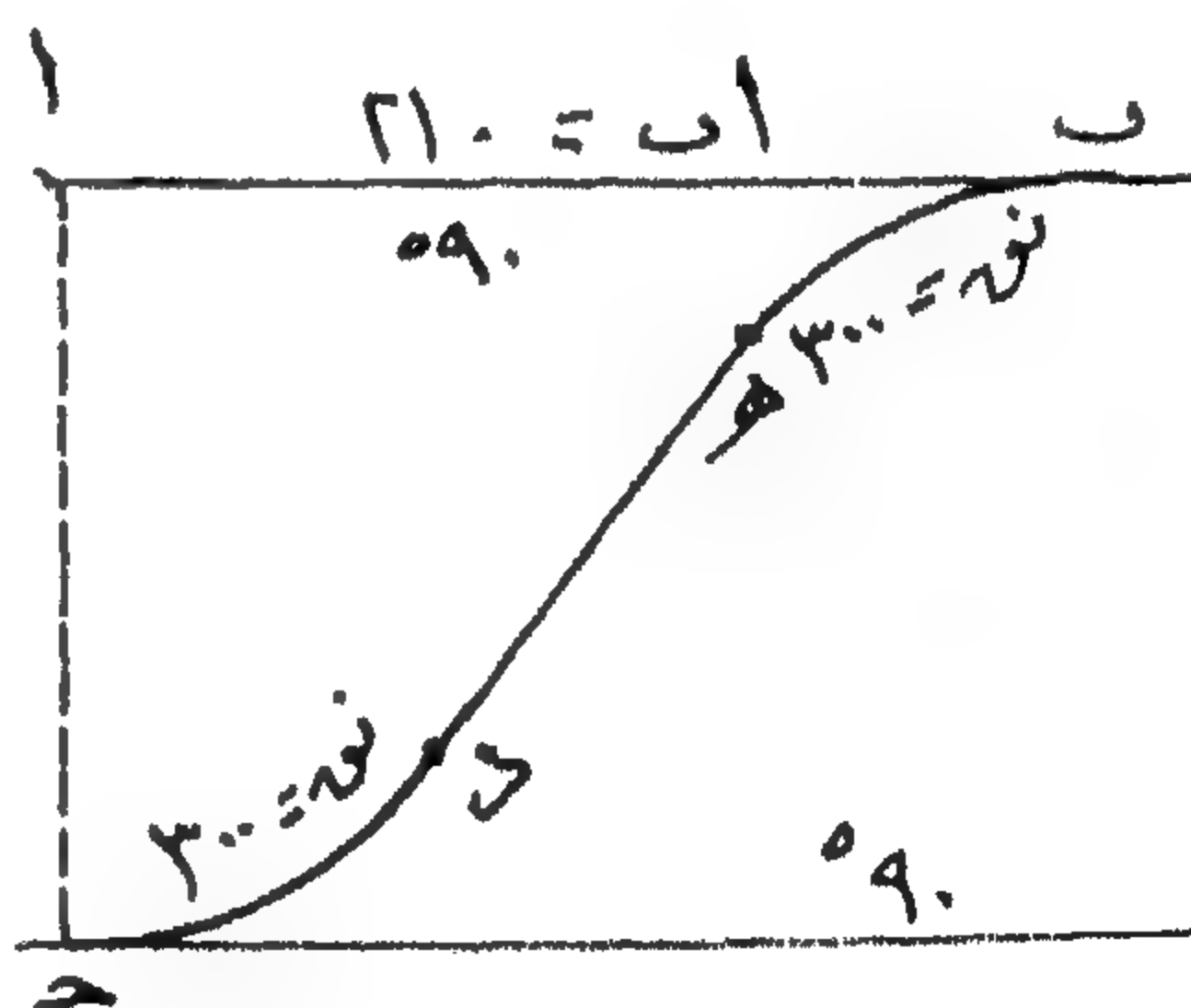
٣٢



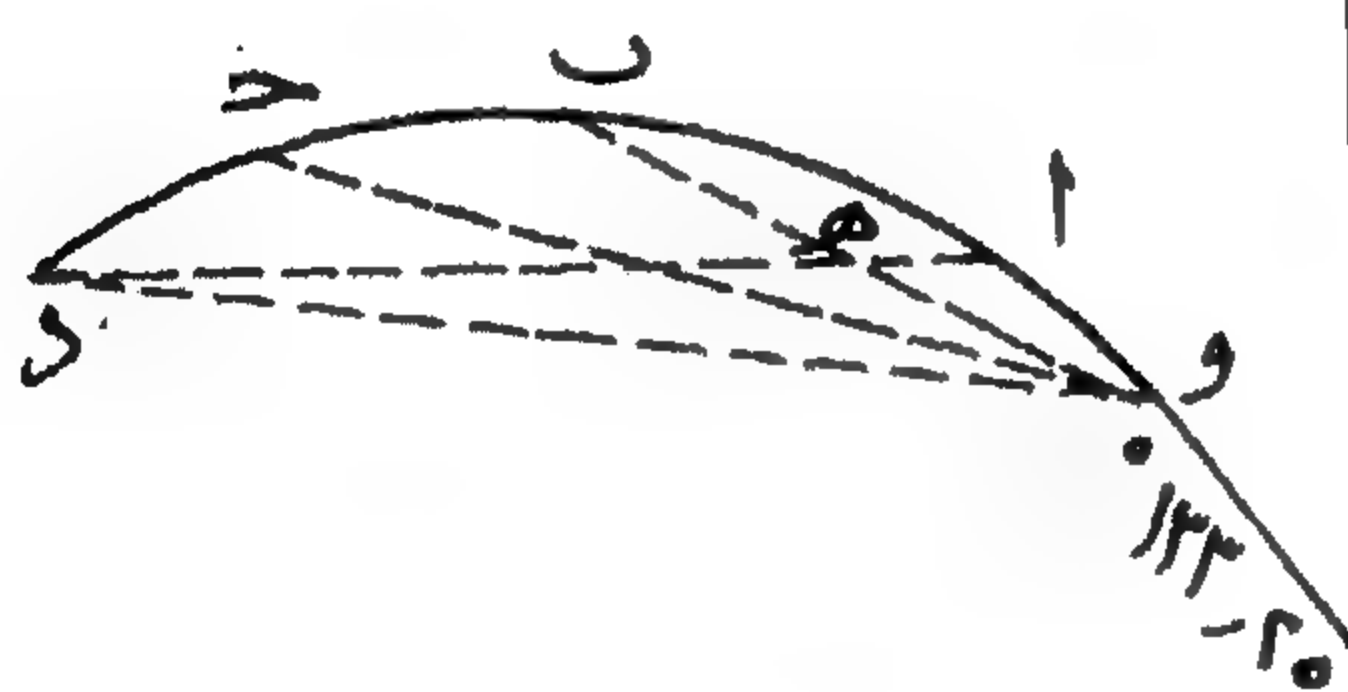
٣٣ مكرور



٣٤



٣٥



٣٦



٣٧ - يراد توقيع منحنى سكة حديد دائرى يمس المستقيم  $AB$  كما فى الشكل ويمر بنقطة المحطة  $C$ . أوجد نصف قطر المنحنى  $J$  -  $١٤٠٠٠٥٢ = ٣$

٣٨ — ملعب رياضي يراد توقيعه كما في الشكل متماثلاً حول المحورين  
 ا ب ، م ه . ما طول السباق وطول المحور م ه . د ، هـ ، و ، ح نقط  
 التماس . ج + ٢٣٠٣,٨٤ . ٦٥٣,٦٠

٣٩ — يراد إيصال المنحنى ح ب ز بالخط و أ ب بواسطة منحنى نصف قطره ١٠٠ متراً وبحيث يكون مماساً عند أ، هـ . أحسب المسافة أ ب ، وطول المنحنى أ هـ . الزاوية و ب ز = ١٥٠° ، ح ب ز = ١٣٠° .

ج — أ ب = ٤٤,٤٥ م ، أ هـ = ٧١,١ م .

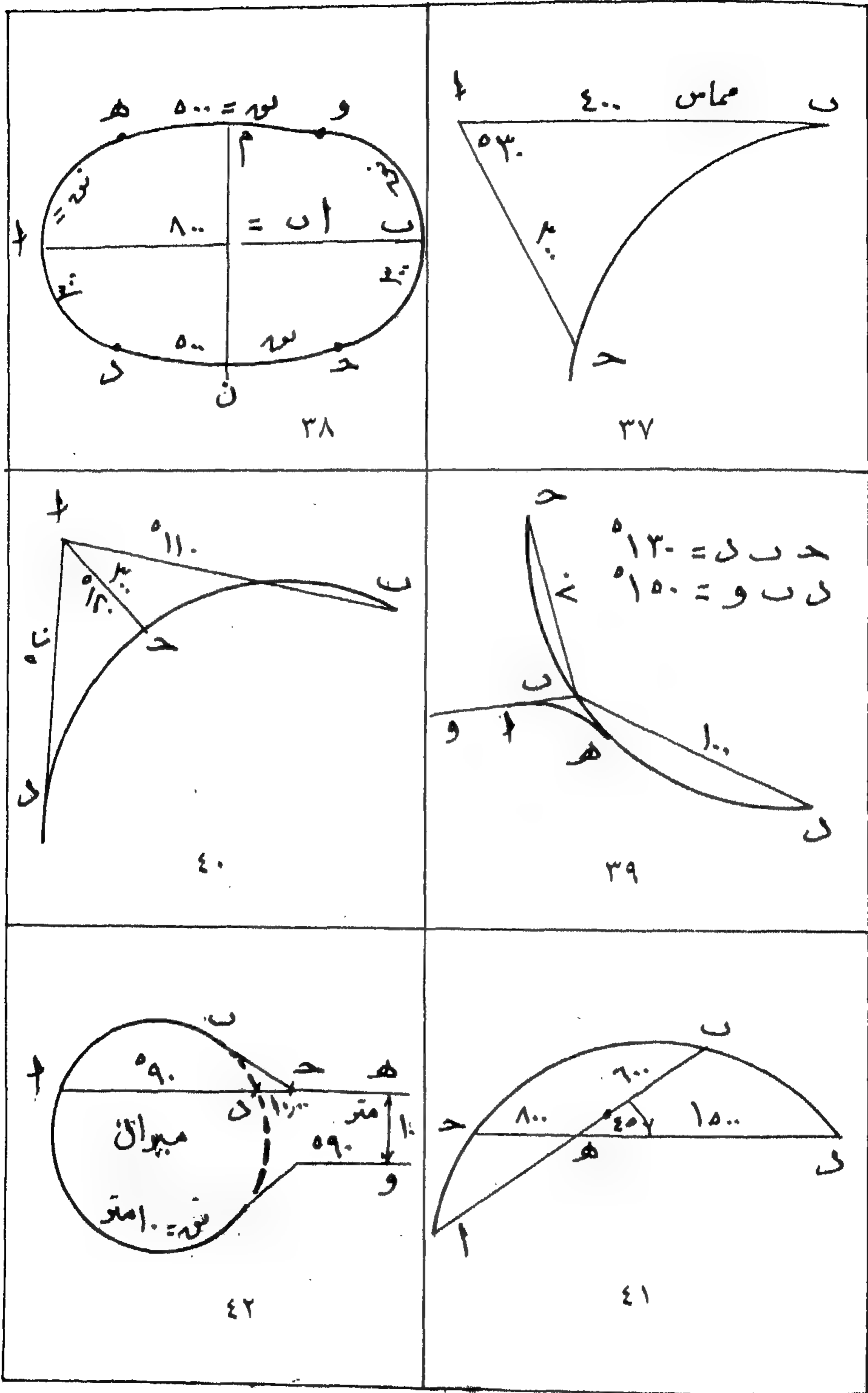
٤٠ — منحنى فيه د نقطة التماس ، ح ، ب نقطتان تقعان عليه . أحسب المسافة ا د . نصف قطر المنحنى ا ب = ٧٠١,٢ م وانحرافه ١١٠° انحراف د ا = ٢٠° وانحراف ا ح = ١٢٠° وطوله ٣٠٠ متر .

٤١ - ا ح ب و منحني سكة حديد فيه ا ب ، ح و وتران بالأبعاد  
المبينة أحسب نصف قطر المنحني وطول ا هـ . ج - ١٧٦٥,٦ .

٤٢ — الشكل يبين طريق عرضه ١٠ أمتار ينتهي بموقف عربات دائري نصف قطره ١٠٠ م ، ومركزه يقع على امتداد محور الطريق جانب الطريق ب ح مماس للمنحني عند ب . د تقع على نفس المنحني وتبعد عن ح بمقدار ١٠ م . ا د ح ه خط مستقيم . أحسب طول القوس ا ب . ا ب = ١٣,٢٩٥

٤٢ مكرر - ا ب ح د ه قطعة أرض مساحتها ٥٠ فدان . الزوايا  
ه ا ب ، ا ب ح ، ب ح د ، ح د ه هي على التوالي ٣٠ " ٤٣ ' ٥٦٣ ،  
٣٠ " ٢٣ ' ٥١٢٠ ، ١٩ ' ٥١٧١ ، ٣٠ " ٢٨ ' ٥٩٣ وطول ب ح ،  
ح د هي على التوالي ٢٧٨,٠ ، ١٢٧٤ متر . أوجد أطوال د ه ، ه ا ،  
ا ب .







٤٣ — ا ، ب ، ح ثلاث نقط قيست أبعادها وانحرافاتهما من نقطة د فكانت على الترتيب ٥٢٨٧ ، ٣٠٠ م ، ٥٣٣٤ ، ٢٤٠ م ، ٥٧٢ ، ٣٥٠ م . يراد إنشاء خط سكة حديد يمر بالنقط ا ، ب ، ح أحسب نصف قطره .

٤٤ — طريقان ا ح ، ه ح يتقاطعان في ح . ب ط د منحني مركب يمس الطريقين في ب ، د على الترتيب . ط نقطة التماس المشتركة . أوجد نصفى قطرى المنحنيين ب ط ، ط د إذا علم أن الزاوية ب و د = ٥٩٠ والزاوية ب ح د = ٥٤٠ وطول المماس ب ح = ٥٠٠,٠ وطول المماس ح د = ٤٠٠,٤٠ ( و ) هي مركز المنحني ب ط .

٤٥ — طريق منحني عرضه ١٠ م كما في الشكل فيه ح د ، و ا عموديان على حدى الطريق وانحرافهما ٥٢٨ ، ٥٣٣٠ على الترتيب . أوجد انحراف الخط ب ه الذى يجعل المساحتين ا ب ه و ، ب ح د ه متساويتين علماً بأن طول المنحني و ه د = ٥٠,٦١٥ متراً .

٤٦ — طريقان بعرض ١٠٠ ، ٦٦ قدماً يتقاطعان في زاوية قدرها ١٠ ' ٥٦٥ كما في الشكل . يراد إيصال محوريها بمنحني دائري يمر ببعد ٢٥ قدماً من الركن ا ، على أن تقاس هذه المسافة قطرياً . أوجد نصف القطر .

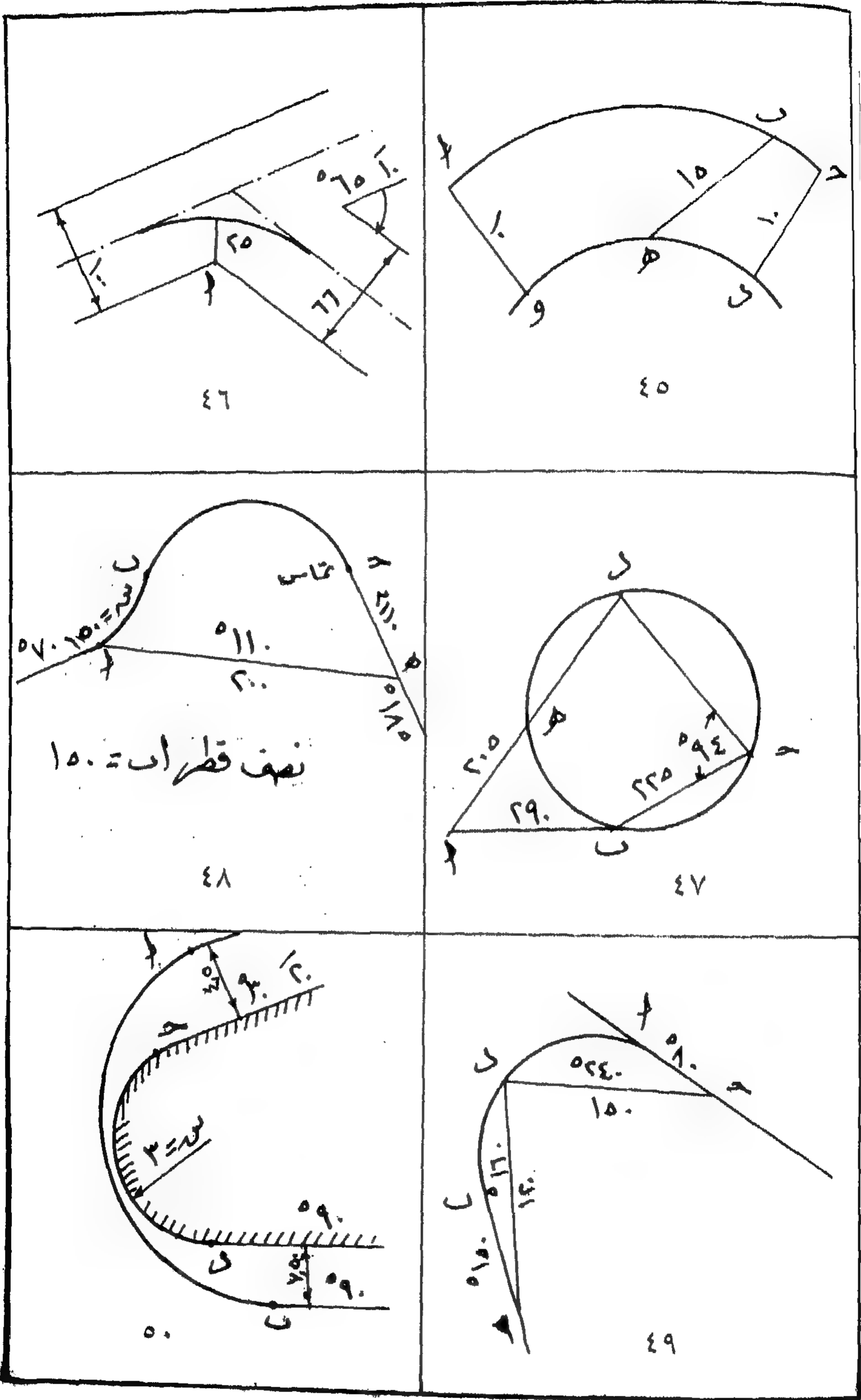
٤٧ — من المعلومات التى فى الشكل أوجد طول كل من ح د ، ه د ونصف قطر الدائرة . ج — ه د = ٢٠٥,٢٤ ، ح د = ١٣٥,٠ .

٤٨ — من المعلومات الميئة . أحسب نصف قطر المنحني ب ح .

٤٩ — ا ب د منحني دائري يمس ا ح ، ب ه عند ا ، ب من المعلومات الميئة أوجد نصف قطر المنحني والبعدين ا ح ، ب ه .

٥٠ — الشكل يبين رصيف جديد يراد عمله على المنحني ا ب . وفى انتظار تعديل المباني يراد أن يحتفظ بعرض رصيف ١,٥ متر على الأقل . أوجد نصف قطر الرصيف ا ب .







٥١ — ثلاث شوارع دائرية عرض كل منها ١٠ أمتار تتقابل كما في الشكل . أوجد مساحة الجزء أ ب ح .

٥٢ — أ ب هـ جزء من الوجه الخلفى لسد منحنى ( arch ) ، ح د و جزء من الوجه الأمامى هـ و ع م الخط الذى يقع عليه مركزا الوجهين ع ، م أحسب أبعاد السد ا ح ، ب د .

٥٣ — أحسب طول وانحراف المسافة بين نقطتى التماس و ، ب .

٥٤ — من المعلومات المبينة أوجد نصف قطر المنحنى و د ح الذى يمس كل من المنحنى ل ح ، الخط و ل ، ويمر أيضاً بنقطة د .

٥٥ — حدود قطعة أرض عبارة عن منحنى نصف قطره ١٨٠ متراً ويمر بنقطتى ا ، ب اللتين تبعدان بمقدار ١٢ ، ٩ متراً من ح ، هـ على الترتيب ( ا ح ، ب هـ فى إتجاه قطرى ) أحسب قيمة كل من الزاويتين ا ح د ، د هـ ب ، وكذلك طول القوس ا ب .

٥٦ — دقت أوتاد على طول محور قناة فى الاتجاه ا ب ح هـ حيث الجزء ب ح د عبارة عن منحنى بسيط نصف قطر ١٨٠ متراً . ثم أريد تعديل التخطيط بحيث يعدل إتجاه د و إلى ع ط ثم تعديل المنحنى البسيط إلى منحنى مركب حيث ل نقطة تماس مشتركة وبمبـث ل = ٢٠٥ م مقاسة على طول المنحنى . أوجد نصف قطر المنحنى ل ع وكذلك المسافة و ع .

٥٦ مكرر — فى توقيع المنحنيات غالباً أن يفرض طول الوتر يساوى طول القوس المقابل له . والمطلوب الآن ألا يتجاوز الخطأ ١ : ٢٠٠٠ من هذا الغرض . أوجد أقصى نصف قطر أو الدرجة التى يمكن معها استعمال أوتار كل منها جنزيراً واحداً .







٥٧ — أجرى الترافرس الآتى حول مجموعة من المباني التى تعترض الخط  
اى ، وكانت الأرصاد كما يلى :

الانحراف الدائرى	الطول ( بالمتر )	الخط
٠١٤١ ' ٣٩	٢٠٠	ا ب
٧٥ ٤٦	٥٨٠	ب ح
٣٤٨ ٥٢	٨٢	ح د

أحسب مقدار الزوايا ب اى ، ح د اى ، وأحسب أيضاً طول الخط اى ،  
وانحرافه .

ج — المركبة الأفقية للخط اى = ٦٦,٢٤ ، ص = ٦٧٠,٤٥ ، انحراف اى = ١٥ ' ٥٨٤  
ح . غ . اى ح = ٢٣ ' ٥٩٥ ، ب اى = ٢٤ ' ٥٥٧ .

٥٨ — من نقطة س التى احداثياتها ٨٤٦ متراً جنوباً ، ١٢٣٧٤ شرقاً  
خطط خط انحرافه ١٢ ' ٥٤٩ ، ومن نقطة ص التى احداثياتها ١٠٢٦  
جنوباً ، ١٥١٨٨ شرقاً خطط خط انحرافه ٣٦ ' ٥٢٢٥ . أحسب احداثيات  
نقطة تقاطع هذه الخطين . احداثيات غ الاقنى ١٣٩٠,٨ شرقاً ، الرأسى = ٨٣٨ شمالاً ..

٥٩ — مثلث ا ب ح مساحته ١٠ أفدنة ، فيه طول القاعدة ب ح =  
١٠٠ متر وانحرافها ٥٢٦٨ والحد ح ا انحرافه ٥٢٣٧ . فإذا كانت احداثيات  
نقطة ب هى — ٨٢٤,٨٩ ، + ٤٥١,٥٤ فما طول وانحراف الحد ب ا  
واحداثيات نقطة ا .

٦٠ — مجموعة من المباني فى مصنع ، يراد وضع ماسوره صرف عند ا ب  
لتصرف فى مصرف عند د ، ويراد معرفة الطول اللازم للماسورة ، ولهذا  
الغرض شكل المضلع ا ب ح د ، وقيس طول ا ب فكان ١٠٧,١٢ متراً ،  
ب ح = ٦٢,١٨ متراً ، ح د = ١٢٦,٨٤ متراً ، والزاوية ا ب ح =  
١٥ ' ٥٧٦ ، والزاوية ب ح د = ١٢ ' ٥١٠١ . أحسب ( أولاً ) طول  
الماسورة اى وانحرافها إذا علم أن انحراف ا ب = ١٩٧ ( ثانياً ) قيمة كل من  
الزاويتين د ا ب ، اى ح اللازميتين لتوجيه الماسورة .

ج — طول اى = ٦٤,٦ م وانحرافها ح د = ٥١ ' ٥٧٤ ، د ا ب = ٠,٩ ' ٥١٢٢ ، ح د اى =  
٢٤ ' ٥٦٠ .

٦١ — نفق مستقيم يراد توصيله بين نقطتين ا ، ب مع العلم أن  
الاحداثيات الخاصة به كما يلى :



النقطة أ : صفر شمالاً ، صفر شرقاً .  
 النقطة ب : ٣٠١٤,٠ شمالاً ، ٢٥٦,٠ شرقاً .  
 النقطة ح : ١٧٦٤ شمالاً ، ١٣٩٨ شرقاً .

ويراد إسقاط ماسورة المدخل عند د منتصف أ ب ، ولكن وجد أنه من المستحيل القياس على طول الخط أ ب مباشرة ، وبهذا رؤى انزال د من ناحية ح وهى عبارة عن نقطة ثالثة معلوم إحداثياتها أحسب ( أولاً ) إحداثيات نقطة د ( ثانياً ) طول وانحراف ح د ( ثالثاً ) الزاوية ا ح د . علماً بأن انحراف ا ح د = ٢٤ ' ٥٣٨ شمال شرق .

٦٢ — تيودوليت قطر حافته الأفقية ٥ بوصة . أحسب طول الاختلاف المركزى الناتج من عدم انطباق مركز الدائرة الأفقية ومركز دائرة الورنيات إذا كانت قراءة الورنية أ = ٤٠ " ١١ ' ٥٠٠ بينما قراءة ب = ٤٠ " ١٢ ' ١٨٠ .

٦٢ م — وضع تيودوليت على مسافة ١٠ متر من حائط وزاوية ارتفاع أعلى نقطة فيه ٥٥٠ . فإذا رصدت هذه النقطة العليا مرة والجهاز متياسر ومرة الجهاز متيامن ، وتحرك المنظار فى كلتى الحالتين من أعلى إلى أسفل حتى المستوى الأفقى حيث قطع قامة أفقية فى نقطتين على مسافة ٣٠ سم من بعضها . أوجد ميل المحور الأفقى .

٦٣ — وضع تيودوليت على أرض مستوية فى نقطة أ ورصدت نقطة ب على بعد ١٠٠ متر وكانت الآلة متيامنة ثم أدير المنظار حول المحور الأفقى ورصدت ح على بعد ١٠٠ متر من أ وأعيد الرصد على ب وكانت الآلة متياسرة . أدير المنظار حول المحور الأفقى ورصدت نقطة جديدة د على نفس المسافة من أ . فإذا كان ح د = ٣٠ سم فأوجد مقدار الخطأ فى انحراف خط النظر . ح — الخطأ = ٣٥ " ٢ ' .

٦٤ — نرافرس أ ب ح د فيه إحداثيات النقطة أ هى ٣٣١,٢ غرباً ، ٥٤٢,٧ شمالاً ، إحداثيات ب هى ٥٨٧,٨ شرقاً ، ٧١٣,٠ شمالاً . الخط ح د يوازي الخط أ ب ، فإذا كان طول ا ح = ٤٣٢,٠ متراً وانحرافه ١٤ ' ٥٣٤٦ ، فما طول وانحراف ب د . علماً بأن ح د = ١١٥٠ متراً .



٦٥ — مبين في الجدول التالي الأطوال والانحرافات لترافرس مقفل أجرى من أ إلى و ، وكل حرف يرمز إلى خط . فإذا كان طول ب وانحراف ه لم يرصد . وكان اتجاه الخط ه ناحية الجنوب الغربى تقريباً . المطلوب حساب المقادير المجهولة ( الأحداثيات إلى رقم عشرى واحد فقط ) .

الخط	الطول ( متر )	الانحراف
أ	٥٠٠,٠	ش
ب	٢	ش ٠٠ ' ٥٤٥ ق
ح	٨٥٤,٤	ح ٢٧ ٦٩ ق
د	١٠١٩,٨	ح ١٠ ١١ ق
هـ	١١١٨,٠	٢

ج — ل = ٨٨٩,٨ ، الانحراف = ٥٦ ' ٢٥٨ .

٦٦ — في قياس طول أضلاع ترافرس بالتاكيمترية وضعت علامتان على زاوية قائمة مع خط النظر من جهاز على أرض منحدر . أوجد من المعلومات الآتية المسافة إلى س ، ل من الجهاز ومنسوب الأرض عند س ، ل . منسوب الجهاز = ١٢٠,٩ متراً وزاوية الارتفاع إلى الهدف ل = ٠٠ ' ٥٠ ' وزاوية الارتفاع للهدف س = ٥٨ ' ١٣ ' والزاوية الأفقية المحصورة عند الجهاز بواسطة س ل = ٤ ' ٤٤ ' ٥١ . ارتفاع الأهداف عن الأرض = ٥,٦ متراً والطول المائل للمسافة س ل = ١٠٠ متر .

٦٧ — منسوب وتد من أوتاد عملية مساحية = ٣٤,٦ قدماً ، وضع فوقه جهاز تاكيومتر مجهز بعدسة تحليلية وثابته التاكيمترى = ١٠٠ وكان خط النظر منسوبه ١,٢٦ متر فوق منسوب الوتد . أخذت رصد على قمة موضوعة رأسية فكانت زاوية الانخفاض ٤٥ ' ٥٧ وقراءات الشعرات على القامة هي ١,٣٥ ، ٢,٢٠ ، ٣,٠٥ متر . تركت القامة فوق النقطة بينما نقل الجهاز إلى نقطة ب وأخذت منها رصد إلى نقطة القامة وكانت زاوية الارتفاع في هذه الحالة ٣٠ ' ٥٩ وقراءات الشعرات ٠,٩٠ ، ١,٥٧ ، ٢,١٤ م . أحسب منسوب نقطة ب إذا كان ارتفاع خط النظر فوق الوتد في النقطة ١,١٧ متر .



٦٨ — الخطان س ص ، ع و يراد إصالحهما بمنحنى درجته ٢٢ ' ٥١٤ .  
 نقطة تقاطع المماسين ومركز المنحنى يقعان في الماء كما أن المنحنى يمر بالمبنى  
 المينة . طول كل من الأقواس ا ب ، ب ك ، ك د يساوى ٣٠ متراً . فإذا  
 كان تدريج نقطة تقاطع المماسين ٢٧٥,٣٥ جنزيراً . أحسب تدريج كل من  
 ا ، ص ، و ( أنظر الرسم في الحل ) . أوجد أيضاً طول القوس د ه . ( الوتر  
 المستعمل طوله = ٢٠ متراً ) .

٦٩ — تدريج نقطة ابتداء وانتهاء منحنى دائرى درجته ٥٢ هو ٣٢٠,٣٤ ،  
 ٢٣٩,٧٥ . أوجد زاوية التقاطع . وإذا زيدت زاوية التقاطع بإدارة المماس  
 الثانى حول نقطة التقاطع خمس درجات ، أوجد تدريج نقطة التماس الجديدة  
 للمنحنى .

٧٠ — الزاوية الداخلية ا ب ح بين مماسين تساوى ١٢٠° ويراد إصالحهما  
 بمنحنى دائرى يمر بنقطة د التى تبعد عمودياً عن ا ب ( المماس ) بمقدار  
 د ه = ٢٤ متراً والمسافة ب ه = ٥٠٠ متراً . أوجد نصف القطر . وإذا  
 كان تدريج نقطة التقاطع ١٥٠,٢٠ جنزيراً أوجد التدريج عند نهاية المنحنى .

٧١ — عند توقيع منحنى سكة حديد وجد أنه لزاماً أن يمر بنقطة تبعد ٥٠  
 قدماً عن نقطة التقاطع وعلى بعدين متساويين من المماسين . تدريج نقطة  
 التقاطع ٢٨٠,٨٠ وزاوية التقاطع ٥٢٨° . أحسب نصف قطر المنحنى وتدرج  
 ابتداء وانتهاء المنحنى وكذلك درجة المنحنى .

٧٢ — يراد عمل منحنى بين مماسين الزاوية الداخلية بينهما ( زاوية  
 تقابلها ) ١٠٣° ويمر بنقطة ط التى تقع على خط مستقيم يمر بنقطة ح نقطة  
 التقاطع ، وهذا المستقيم يصنع زاوية د ه = ١٣° مع المماس الأول ، علماً بأن  
 المسافة ح ط = ١٥٠ متراً . أوجد نصف قطر المنحنى .

٧٣ — منحنى مركب من قوس نصف قطره ٣٠ جنزيراً يتبعه آخر بنصف  
 قطر يساوى ٤٠ جنزيراً . يراد إصالح المماسين اللذين زاوية تقاطعهما  
 ٣٢ ' ٥٨٤ بهذا المنحنى . مع العلم بأن تدريج نقطة تقاطع المماسين ٧٧,٦٤  
 جنزيراً ، وقد اختيرت نقطة ابتداء المنحنى عند ٤٥,١٤ جنزيراً . أحسب  
 تدريج نقطة اتصال القوسين وتدرج نقطة انتهاء المنحنى .



٧٤ - منحني مركب ا ب ح لسكة حديد ( ا ب ح ) نصف قطر القوس ا ب = ٦٠ جنزيراً ونصف قطر القوس ب ح = ٤٠ جنزيراً . وقعت نقطة تقاطع المماسين الخارجيين وقيست زاوية التقاطع فكانت  $٥٣٥'٠٦$  . فإذا كان القوس ا ح طوله ٢٠ جنزيراً . أحسب طول المماسين الأصليين .

٧٥ - عند توقيع منحني مركب بقوسين نصفى قطريهما ٢٠ ، ٤٠ جنزيراً على الترتيب كانت زاوية التقاطع للقوس الأصغر  $٥٩٠$  وللقوس الآخر  $٥٦٠$  . قيس طول المماس المشترك ووجد أنه يساوى ٤٣ جنزيراً . أوجد مقدار زحزحة المماس المشترك الضرورية وفي اتجاه بحيث يكون موازياً لنفسه حتى يمكن توقيع المنحني بدقة .

٧٦ - منحني عكسي ا ب يراد توقيعه بين خطى سكة حديد متوازيين يبعدان ٥٠ متر عن بعضهما . فإذا كان نصف القطر متساويين والمسافة بين نقطتي التماس ا ، ب تساوى ٤٠٠ متراً فأحسب نصف القطر .

وإذا كان يراد توقيع المنحني بواسطة الأحداثيات من ا ب على فترات متساوية كل منها يساوية ٢٥ متراً على طول الخط ، أحسب أطوال هذه الأحداثيات المطلوبة إلى أقرب سنتيمتر .

٧٧ - أوجد مناسب النقط على المنحني الرأسى الذى يصل بين المنحارين منتظمين أولهما + ٠,٧ فى الجنزير والثانى - ٠,٩ فى الجنزير . علماً بأن منسوب نقطة تقاطع الخطين ١٦٠,٦٠ متراً وطول المنحني ٣٢٠ متراً . المطلوب مناسب النقط كل ٤٠ متر وما منسوب أعلى نقطة .

٧٨ - ا ب ح د قطعة أرض مستطيلة الشكل النسبة بين طولى ضلعها ا ب : ب ح = ٣ : ٢ . شق الطريقان ا ه ، ا و ليقابلا ح ب ، ح د أو امتدادهما فى ه ، وبالأطوال والانحرافات المبينة فى الشكل . أوجد أبعاد قطعة الأرض . ج - ا ب = ١٥٦,٨٥ ، ب ح = ١٠٤٠,٥٠

٧٩ - ح نقطة التماس المشتركة للمنحنيين ا ح ، ح ب ، ا ب نقطتا التماس وطول المنحني ح ا = ٣٣٠ م ونصف قطره ٥٠٠ م . أوجد مساحة القطعة ا ح ب ه حيث ا ه = ٨٦٦,٧ م وانحرافه  $٣٠'٠١٥$  ، ب ه =  $١٠٨٥,١$  م وانحرافه  $١٠'١١٥$  .

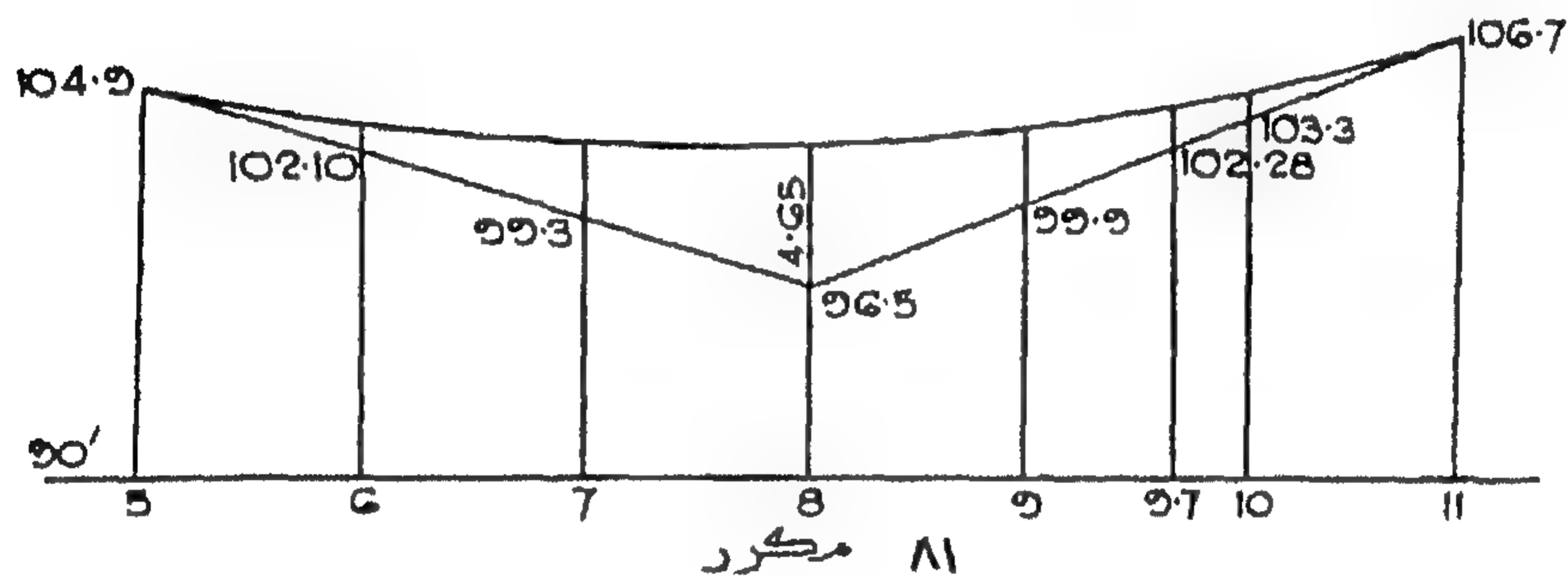






٨١ مكرر — يراد تصميم منحني رأسي ليصل الانحدارين المبيين في الشكل . أحسب مناسيب النقط على المنحني عند النقط ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ ، ١٠ ، ٩،٧ حيث هذه الأرقام تمثل محطات كل ٣٠ متر . حقق العمل الحسابي وأوجد أيضاً بعد ومنسوب أوطى نقطة على هذا المنحني .

وإذا فرض أن الانحدار الأول راد إلى الضعف وكان المطلوب طول المنحني إذا كان المنحني سيمر بنقطة ( س ) حيث منسوبها ٩٨،٠ وتدرنجها ٧،٢٥ أولاً : تدرنج تقاطع الانحدارين ٨،٦٠ ومنسوبها ٩٦،٣٠ . ثانياً : إذا كانت س هي أوطى نقطة في المنحني .



٨٢ — من المعلومات المبينة في الشكل ، أحسب المسافة ب ح ، وانحراف وطول ح د . ج — ب ح = ٨٠٠٠ ، ح د = ٥٥ ' ٢٤ ، ٥١٦٩ ، ١٢٠٠ .

٨٣ — أجرى الترافرس ا ب ح لتعيين خط ماسورة مياه قديمة د و ه وكان من المعلوم أن انحراف الماسورة يساوي ١٤١ ' ٠٠ من و إلى ه ، ٩٨ ' ٠٠ من د إلى و مع مرورها بالنقطة ب . أحسب الأطوال د ا ، د و ، و ه . ج — ا د = ٤٣.٧٤ ، د و = ٢٨٩.١٧ ، و ه = ٣٧٦.١٢ .

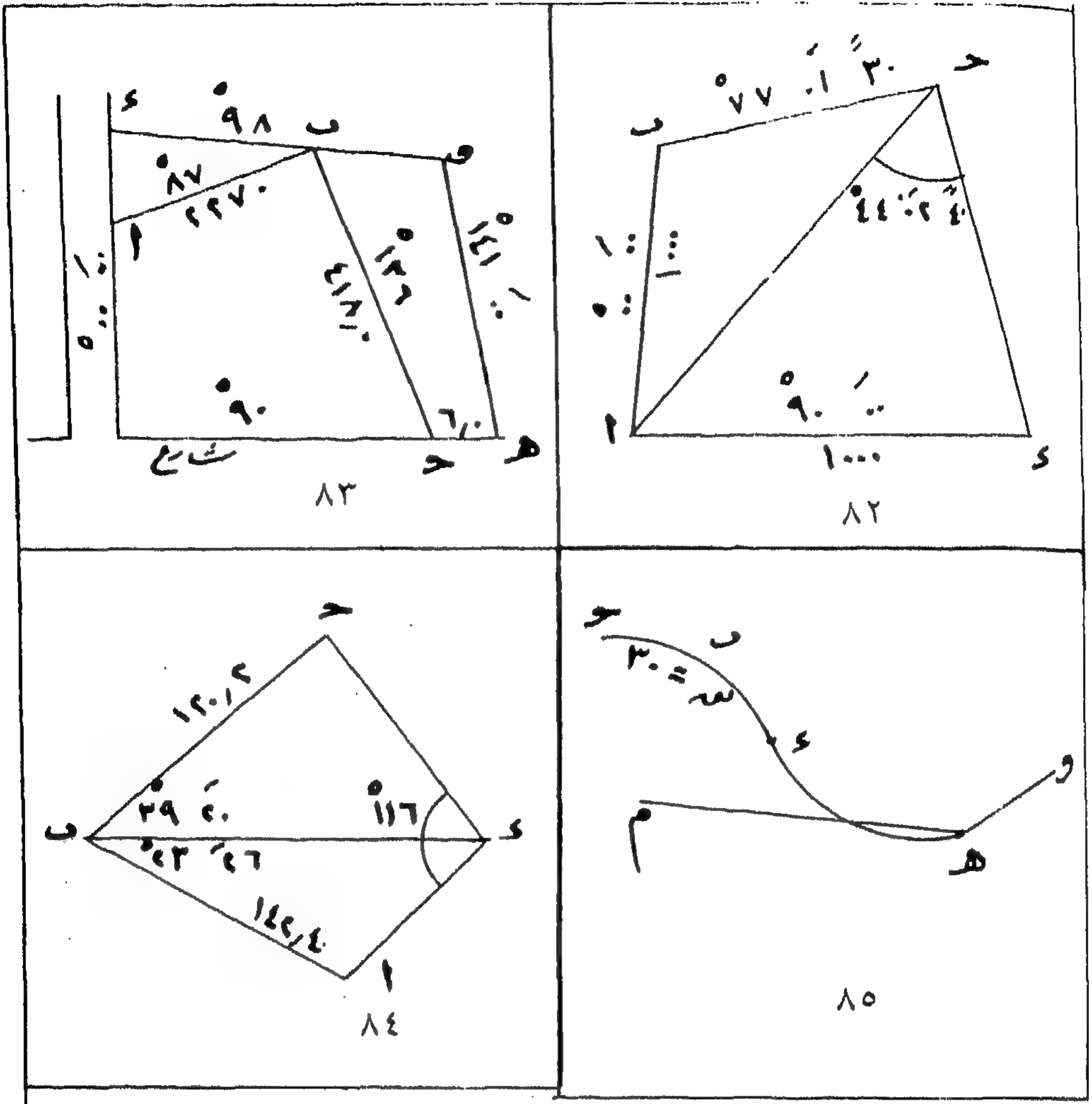
٨٤ — من المعلومات المبينة في الشكل أحسب طول ا د .

ج — ٦٢.١٣ .

٨٥ — ح ب د يراد إبعاله بالخط المستقيم ه و بمنحني عكسي د ه . د ليست من الضروري أن تكون على الخط م ه ، م هي مركز المنحني ح ب د ، ونصف قطره ٣٠ جنزيراً . انحراف ه م = ٣٠.٨ ' ٠.٣ وطوله ٥٨،٤١٥ جنزيراً . انحراف ه و = ٥٩٠ . أوجد نصف قطر المنحني د ه .

ج — ١٩.٠٣





٨٦ — منحنى مقعر يصل بين انحدارين — ٣٪ ، ٢٪ صمم على أساس أن  
مسافة الرؤية لنور الكشف الأمامي حسب المواصفات . مسافة الرؤية  
للتوقف = ٥٠٠ قدم . أحسب طول مسافة الرؤية للمنحنى علماً بأنه أطول  
من مسافة الرؤية . ملحوظة : المنحنى يؤخذ دائرياً وليس قطعاً مكافئاً . ج — ٥٥٦ قدم .

٨٧ — ا ب ، ح د خطان مستقيمان بحيث أن ا ، د على جانبي مماس  
مشترك ب ح ، يراد إكمال الخطين بمنحنى عكسي نصف قطره م .

فإذا فرض أن الزاويتين ا ب ح ، ب ح د هما ٤٠ ' ٥١٤٨ ،  
٢٠ ' ٥١٣٩ على الترتيب وطول ب ح يساوى ١٦,٢٨ جنزيراً . أوجد

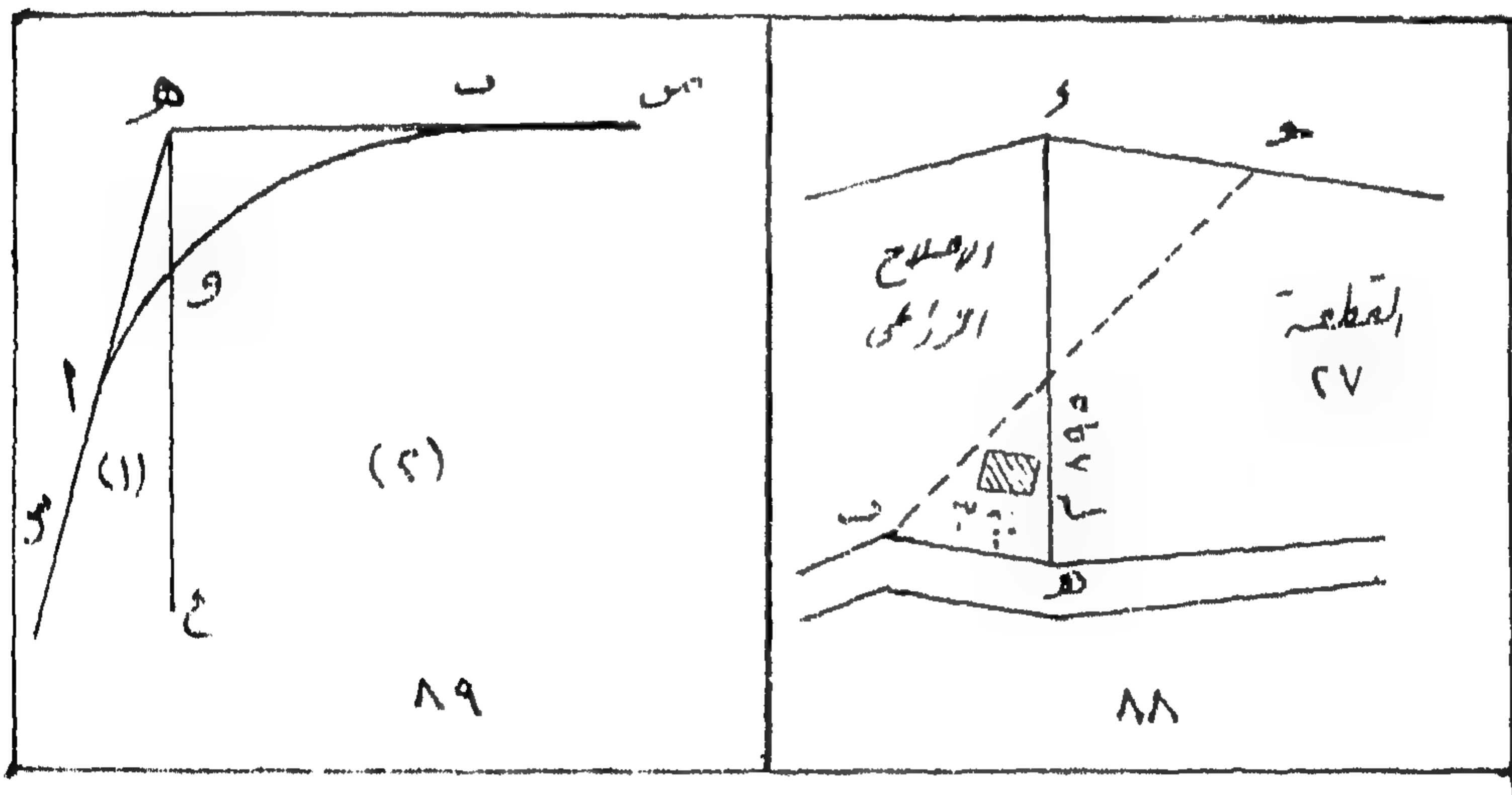
ج — م = ٢٥ جنزيراً ، ١٣٨,١١٨ ، ١٥١,٨٥٩٢ ، ١٦٩,٦٠٢ .



نصف القطر المشترك وتدرج نقطتي التماس ونقطة التماس المشتركة . الاتجاه من  
أ إلى د وتدرج ب = ١٤٥,٢٠ جنزيراً .

٨٨ — المنزل المين في الشكل يمتلكه صاحب قطعة الأرض ٢٧ وقد بنى  
خطاً في منطقة الأصلاح الزراعي . يراد تحديد خط حدود جديد ح ب بحيث  
ينتقل المنزل إلى المنطقة ٢٧ وبدون أن تتغير أى من مساحة القطعتين . أوجد  
طول ح د ، وانحراف وطول المسافة ب ح علماً بأن انحراف د ح =  
٥١٠٠ ، ه د = صفر ، ب ه = ٥١١٠ .

٨٩ — ه س ، ه ص طريقان يحدان القطعتين (١) ، (٢) على الترتيب .  
يراد إدخال المنحنى أ ب الذى يمس الحدين عند أ ، ب . أوجد نصف قطر  
المنحنى الذى يمر بنقطة والتي تقع على الحد الفاصل بين القطعتين وتبعد بمقدار  
٩,٧٥ م عن ه علماً بأن انحراف س ه = ٥٣٠ ، ه ص = ٥٩٠ ، والحد  
ه ع = ٥١٨٤ ' ٣٠ . ج - ٤٩,٩٦



٩٠ — في الشكل أ ، ب ، ح ، د نقط التماس . من المعلومات الميئة  
أوجد انحراف ب ح . نفس المسألة (٢٧) ج - ٥١٣٤ ' ١٣ .

٩١ — من المعلومات الميئة في الشكل أحسب نصف قطر المنحنى  
ب ح د ( نفس المسألة ٣٠ ) . ج - ١٩٤,٦١



٩٢ —  $a$   $b$   $c$  خط منكسر يفصل بين قطعتي أرض .  $a$   $b$  انحرافه  $٥١٦٠$  وطوله  $٥٠$  ،  $b$   $c$  انحرافه  $٥٢٠٠$  وطوله  $٣٠٠$  . يراد تعديل الحد المنكسر إلى حد مستقيم  $a$  بدون تغيير كل من المساحتين . أوجد طول  $c$  .  $ج - ١٥٦,٣٣$

٩٣ — ثلاثة طرق متقاطعة كما في الشكل .  $b = ٤٠$  م . أوجد طول  $c$  و  $د$  .  $ج - ٢١١,٨$

٩٤ —  $a$   $c$  ملعب سباق مستدير نصف قطره  $١٠٠$  متر ومركزه  $b$  . من تيودوليت في نقطة  $d$  قيست الزاوية  $a$   $d$   $c$  بين المماسين فكانت  $٥٤٠$  . نقل الجهاز إلى  $و$  على  $b$  فكانت الزاوية  $a$   $و$   $c$  =  $٥٧٦$  . ما بعد التيودوليت في  $و$  عن  $س$  تقاطع  $a$   $و$  مع الملعب .  $ج - ٩٠,٨٣$

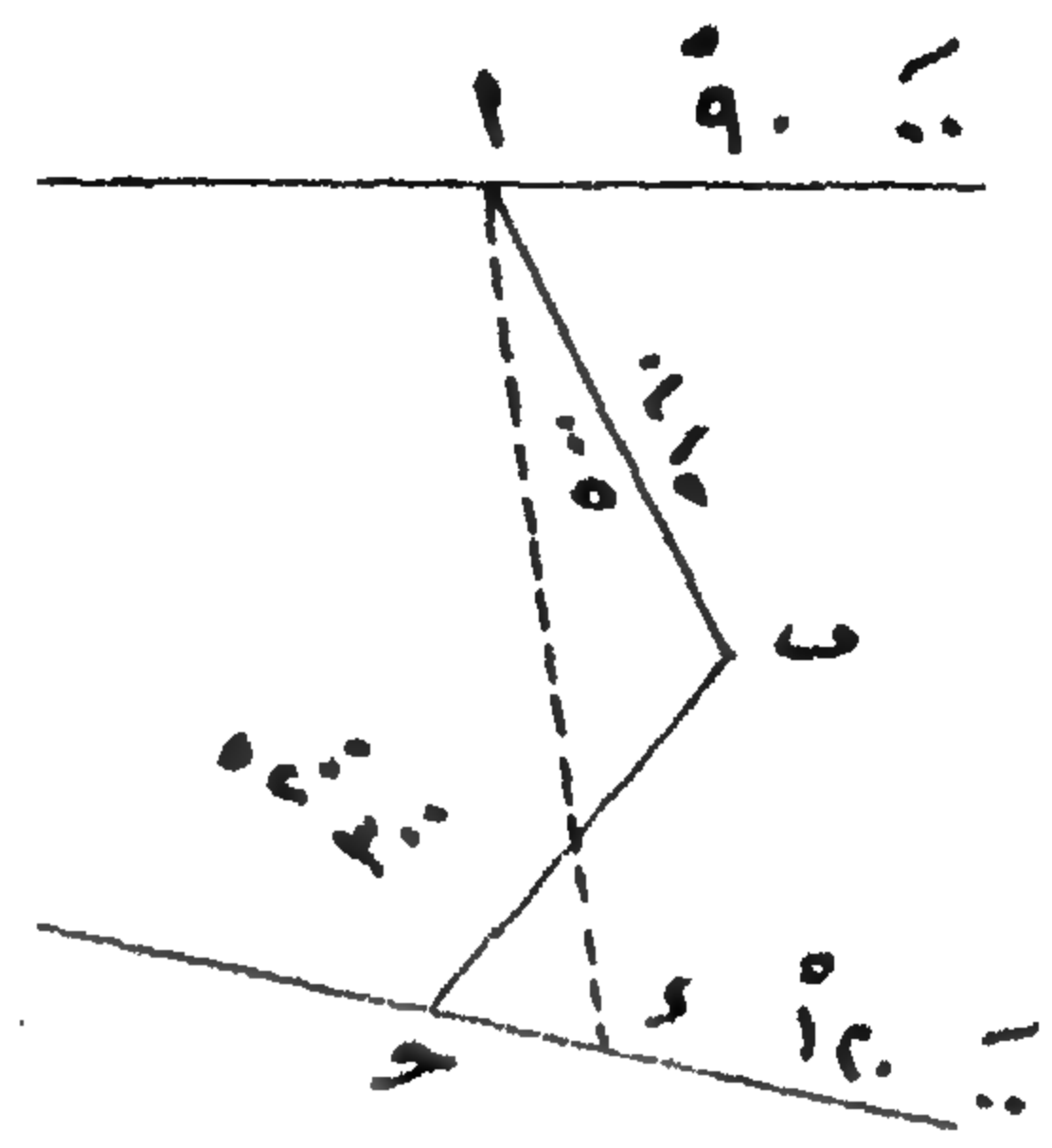
٩٥ —  $c$   $d$   $و$  عبارة عن حد يفصل بين قطعتي أرض وانحرافه  $٥١٢٠$  ،  $b$   $c$  =  $٦,٦٨$  م . يراد توسيع الشارع باقتطاع الجزء  $a$   $b$  بحيث أن  $a$   $b$  =  $b$   $c$  =  $٢٠$  م . انحراف  $b$   $a$  =  $٥١٦٠$  وانحراف  $b$   $c$  =  $٥٠$  ،  $٥٤٠$  . أحسب طول كل من  $a$   $d$  ،  $d$   $و$  ،  $c$   $d$  .  $ج - ١٩,١٩$  ،  $١٥,٣٣$  ،  $c$   $d$  =  $٧,٧٥$

٩٦ — مماسان  $a$   $b$  ،  $b$   $c$  يتقاطعان في زاوية  $٣٠$  '  $٥٦٣$  .  $a$   $د$  ،  $د$   $و$  ،  $و$   $c$  عبارة عن أربعة أوتار تقع على منحنى يمر بنقطتي  $a$  ،  $c$  نصف قطره  $٤٠٠$  قدم . أحسب طول وانحراف كل من الأوتار إذا علم أن انحراف  $b$   $c$  =  $٣٠$  '  $٥١٢٣$  .  $ج - ١١٠,٤٧$

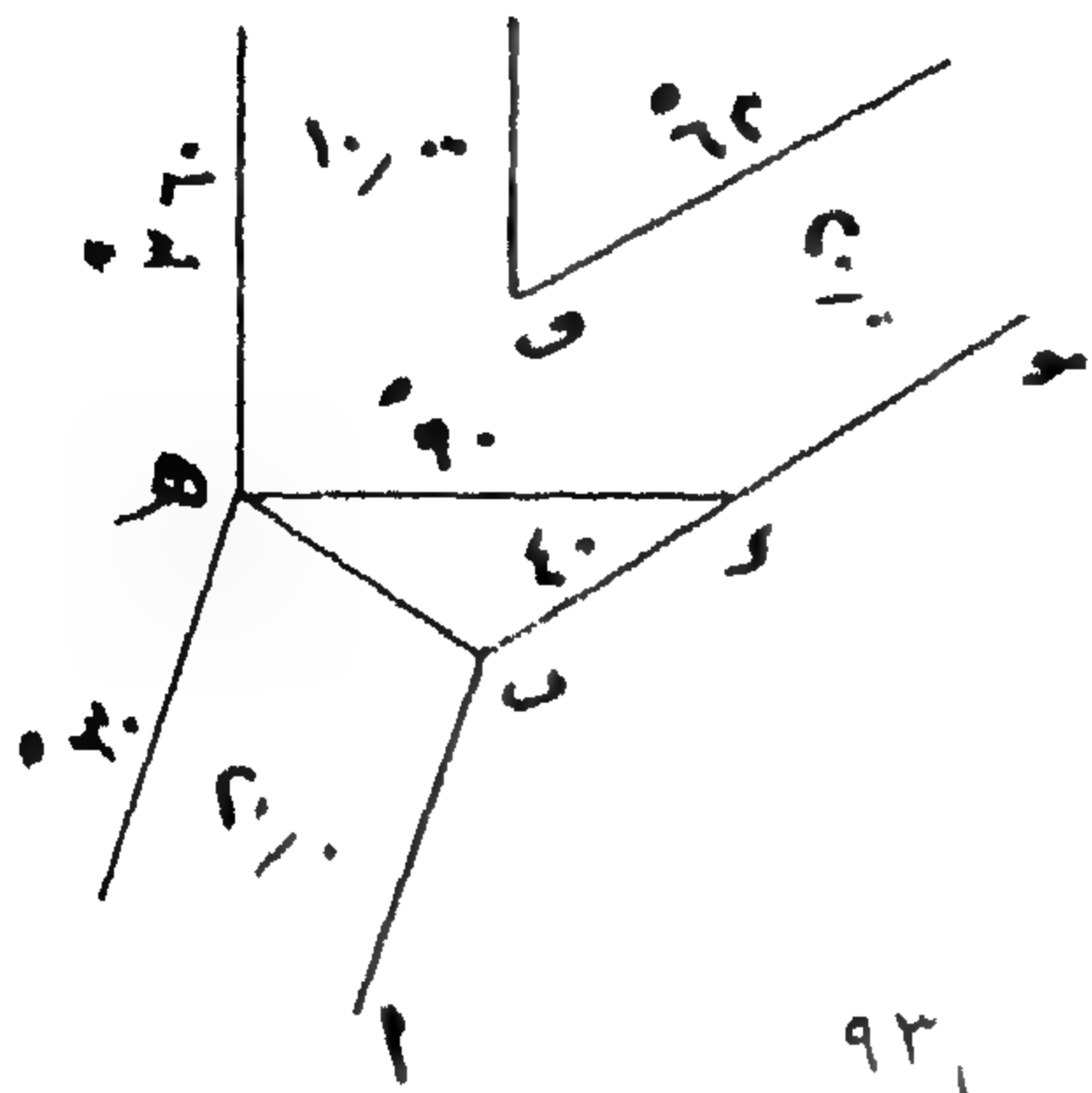
٩٦ م —  $a$   $b$   $c$   $د$  مضلع مقفل فيه  $a$   $b$  =  $٤٧٤$  م ،  $c$   $b$  =  $١٢٠$  م ،  $c$   $د$  =  $٢٥٧,٣٣$  م ،  $د$   $و$  =  $٢٢٦$  م ،  $و$   $a$  =  $٢٨٧$  م ، والزاويتان  $b$   $a$   $د$  =  $٢٧$  '  $٥١٠١$  ،  $a$   $د$  =  $٥٧٥$  . أوجد قيم الزوايا الأخرى  $a$   $b$   $c$  .  $٣٠$  "  $٤٩$  '  $٥١٤٣$  ،  $b$   $c$  =  $٢١$  '  $٥٦٨$  ،  $c$   $د$  =  $٢٢$  '  $٥١٥٦$

٩٧ — يراد تعديل الحد  $د$   $c$  بين القطعتين  $a$  ،  $b$  بالحد المنكسر المكون من الخططين  $و$   $هـ$  ،  $هـ$   $ك$  ، والمتعامدين على حدى الطريقين . المطلوب جعل المساحة  $د$   $هـ$   $و$  أربعة أمثال المساحة  $هـ$   $ك$   $د$  . قيس الحد  $د$   $و$  فوجد أن طوله  $٥٩٤,٢$  متراً . أوجد المساحة  $د$   $هـ$   $ك$  .

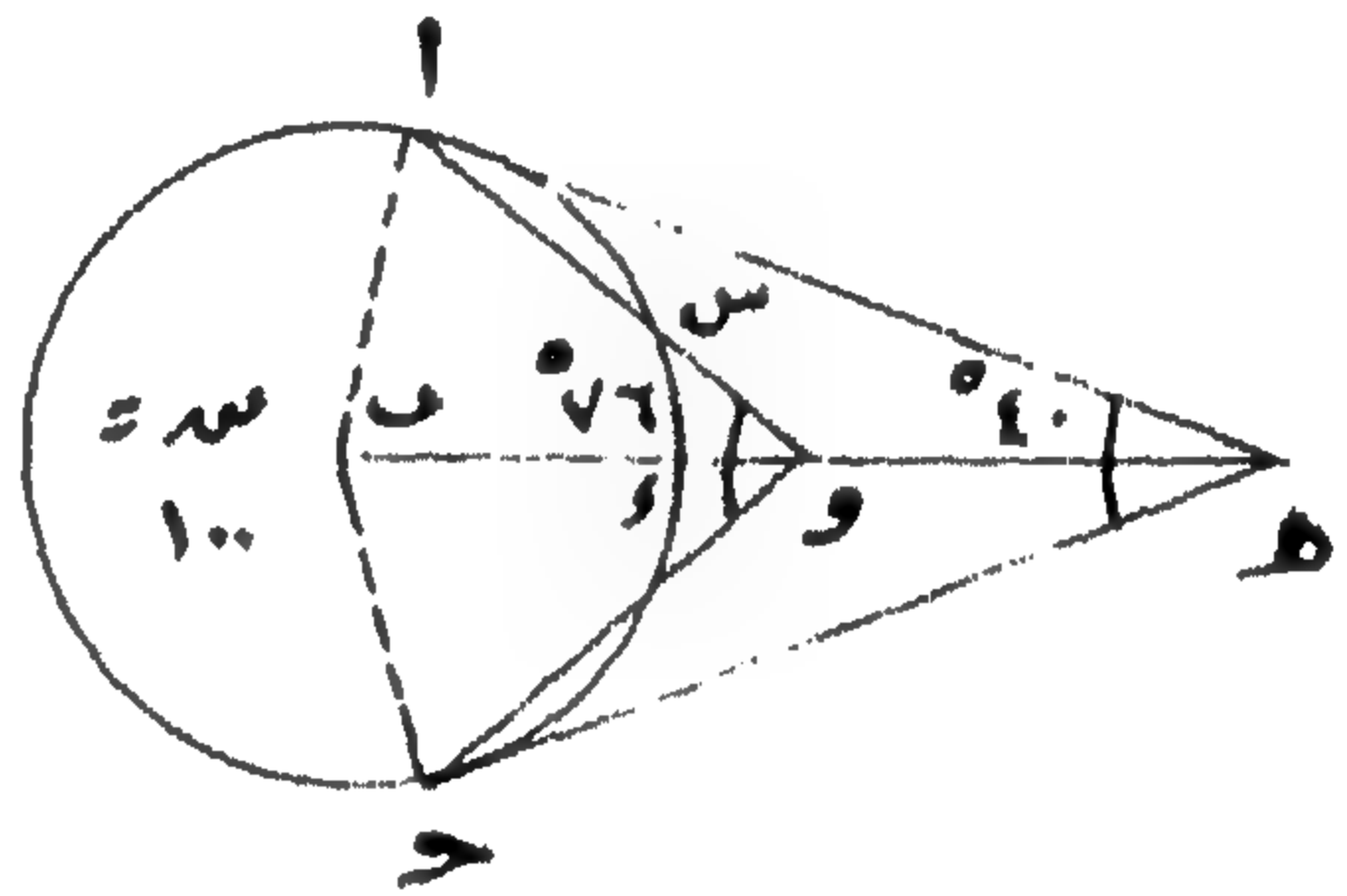




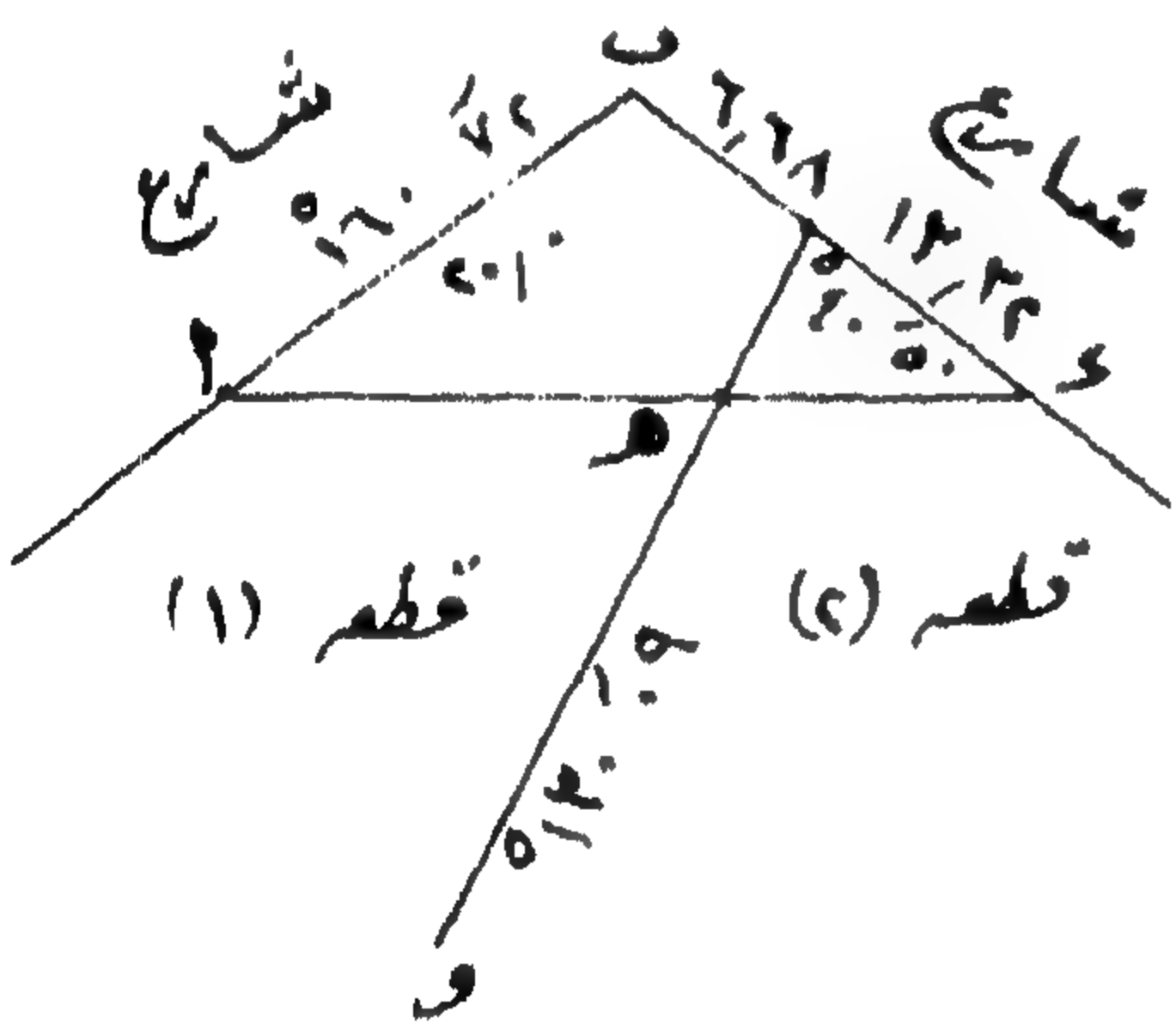
٩٢



٩٣



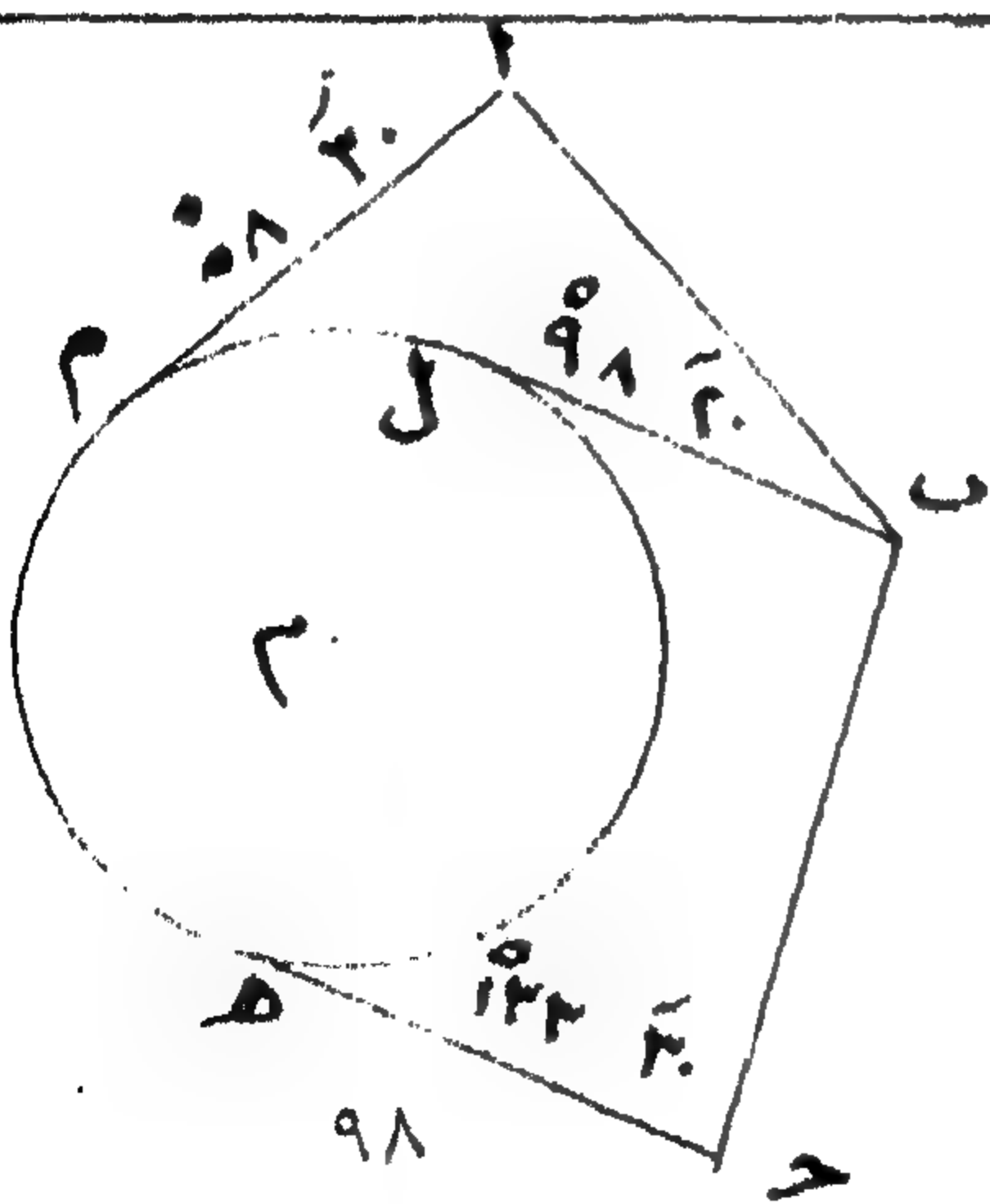
٩٤



٩٥



٩٧



٩٨



٩٨ — ا ، ب ، ح ثلاث نقط انحراف ا ب ٠٠ ' ٥١٠ وطوله ٢٠٠٠ متر ، ب ح انحرافه ٥٣٥٠ . قيست انحرافات المماسات من ا ب ، ح لمبنى دائرى مساحته ٣٨٥٠ م<sup>٢</sup> ، واحسب المسافة ب ح . انحراف ا م = ٣٠ ' ٥٥٨ ، ب ل = ٢٠ ' ٥٩٨ ، انحراف ح ه = ٣٠ ' ٥١٣٣ ج — ٢٣٥٨,٩ .

٩٩ — ثلاثة شوارع تتقاطع كما هو مبين بالشكل . احسب طولى وانحراف ا ب ، ا ح ج — ا ب ٤١ ' ٥١٢٦ ، ا ح ١٥ ' ٥٩٧ ، ١٥٢,٣١ .

١٠٠ — ماسورة مجارى م ه و ع مطلوب أن تبعد بمقدار ٢٠ م عن كل من الركنين د ، س . طول ا ب = ٧٠ م وانحراف ب ا = ١٠ ' ٥١٧٤ . احسب انحراف ماسورة المجارى . ج — ٥٦٥ ' ٠٥ .

١٠١ — صهريج بترول دائرى جديد قطره ٥٠ مترا ومركزه د يراد أنشاؤه بحيث يبعد ٥٠ مترا من صهريج موجود حالياً ، ٥٠ متراً من الحد ا ه . احسب طول وانحراف ا د ليتمكن توقيع مركز الصهريج ج — ١٣٢,٨٤ .

١٠٢ — ملعب رياضى يراد توقيعه كما فى الشكل متاثلاً حول المحورين ا ب ، م ه ما طول السباق وطول المحور م ه . د ، ه ، و ، ح نقط تماس . ج — ٢٣٠٣,٨٤ ، ٦٥٣,٦٠٠ م .

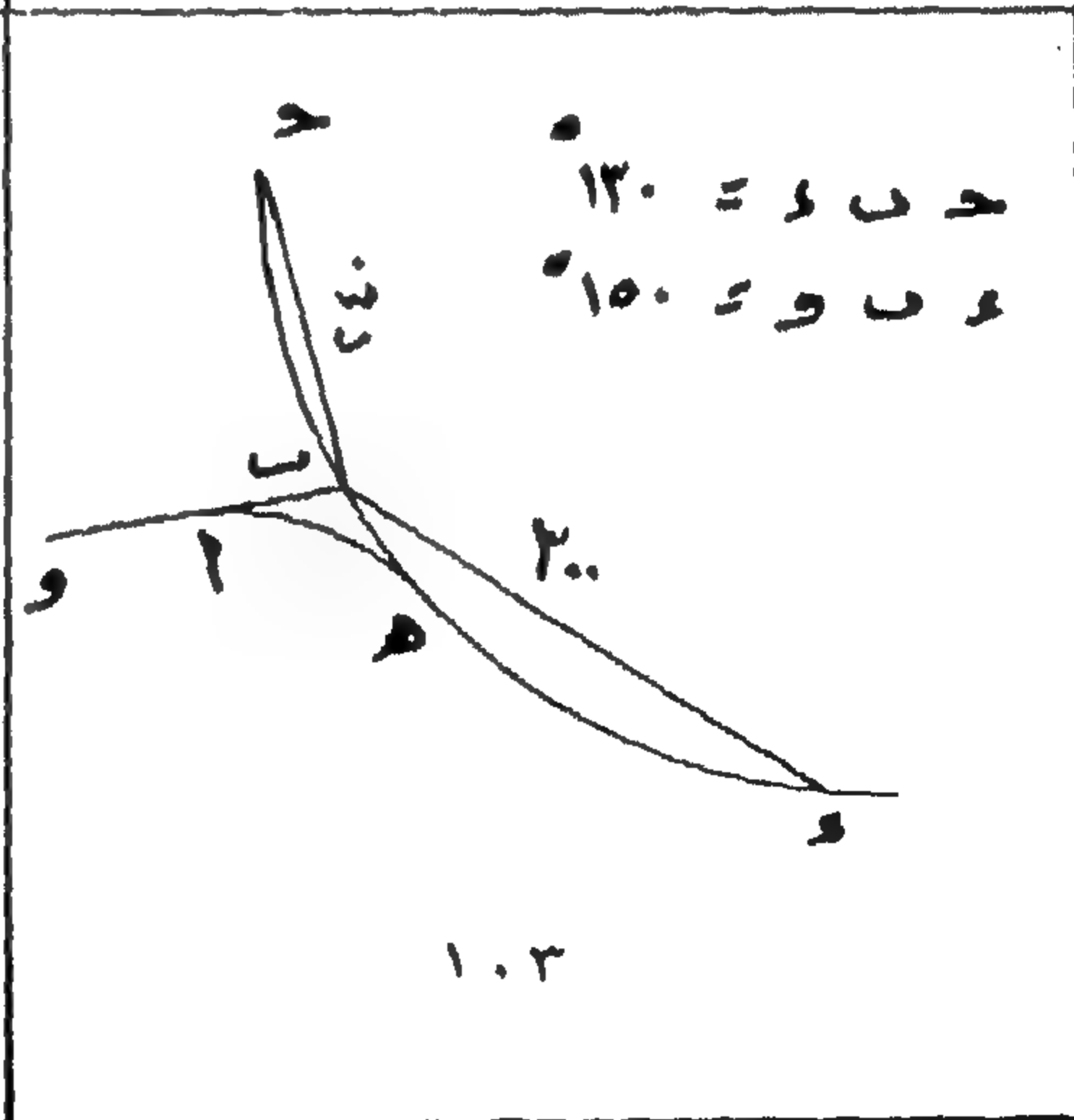
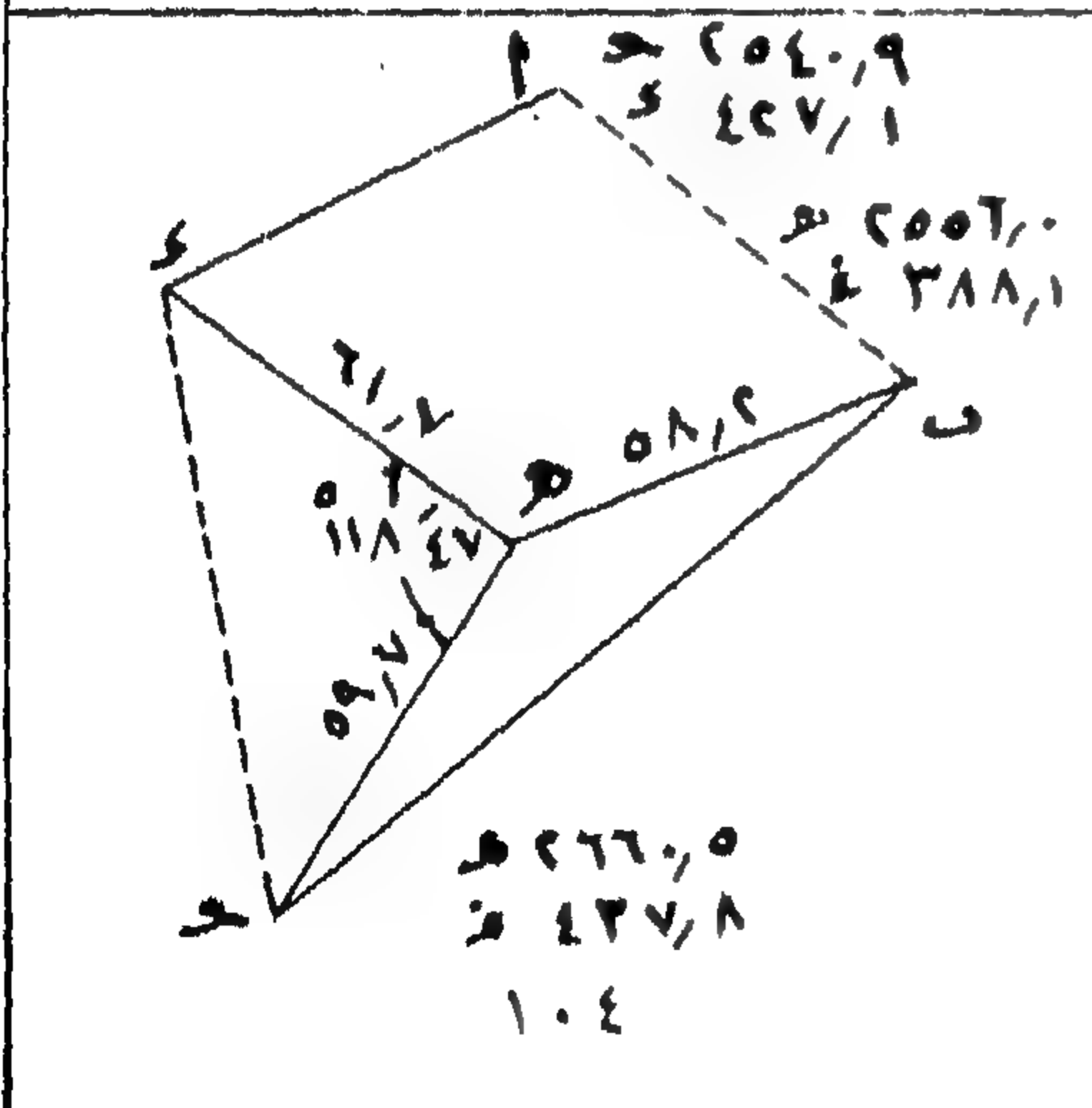
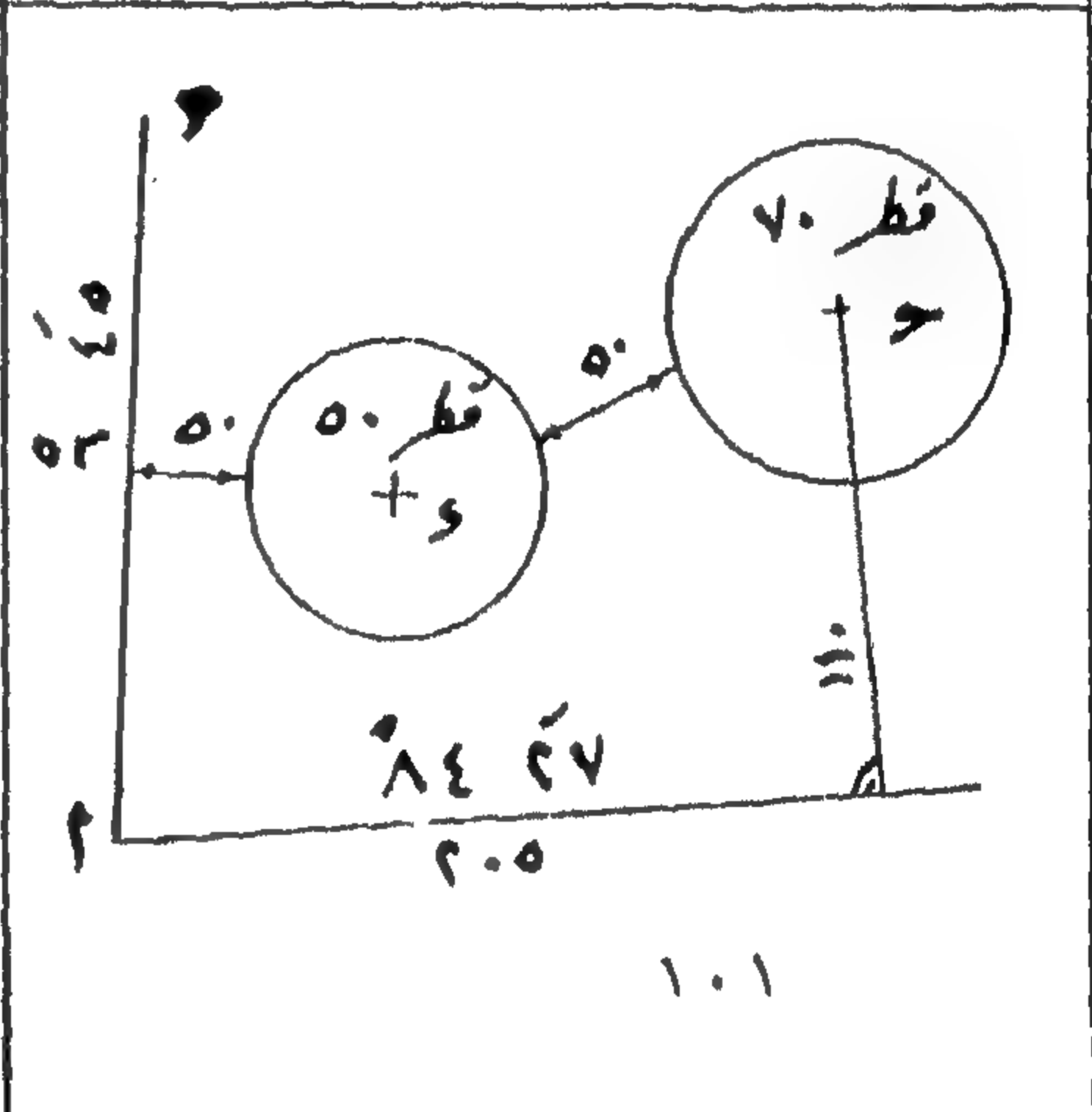
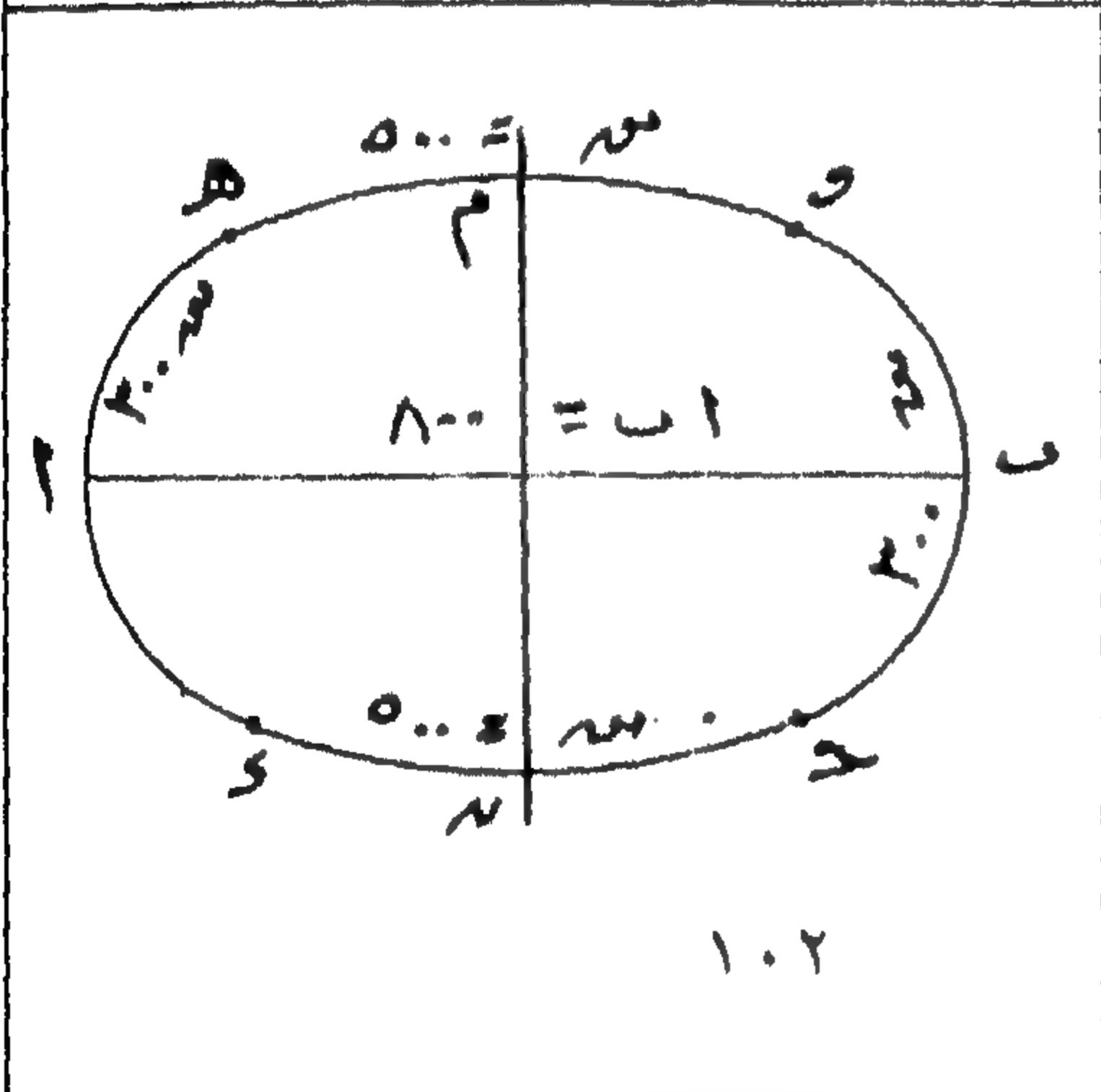
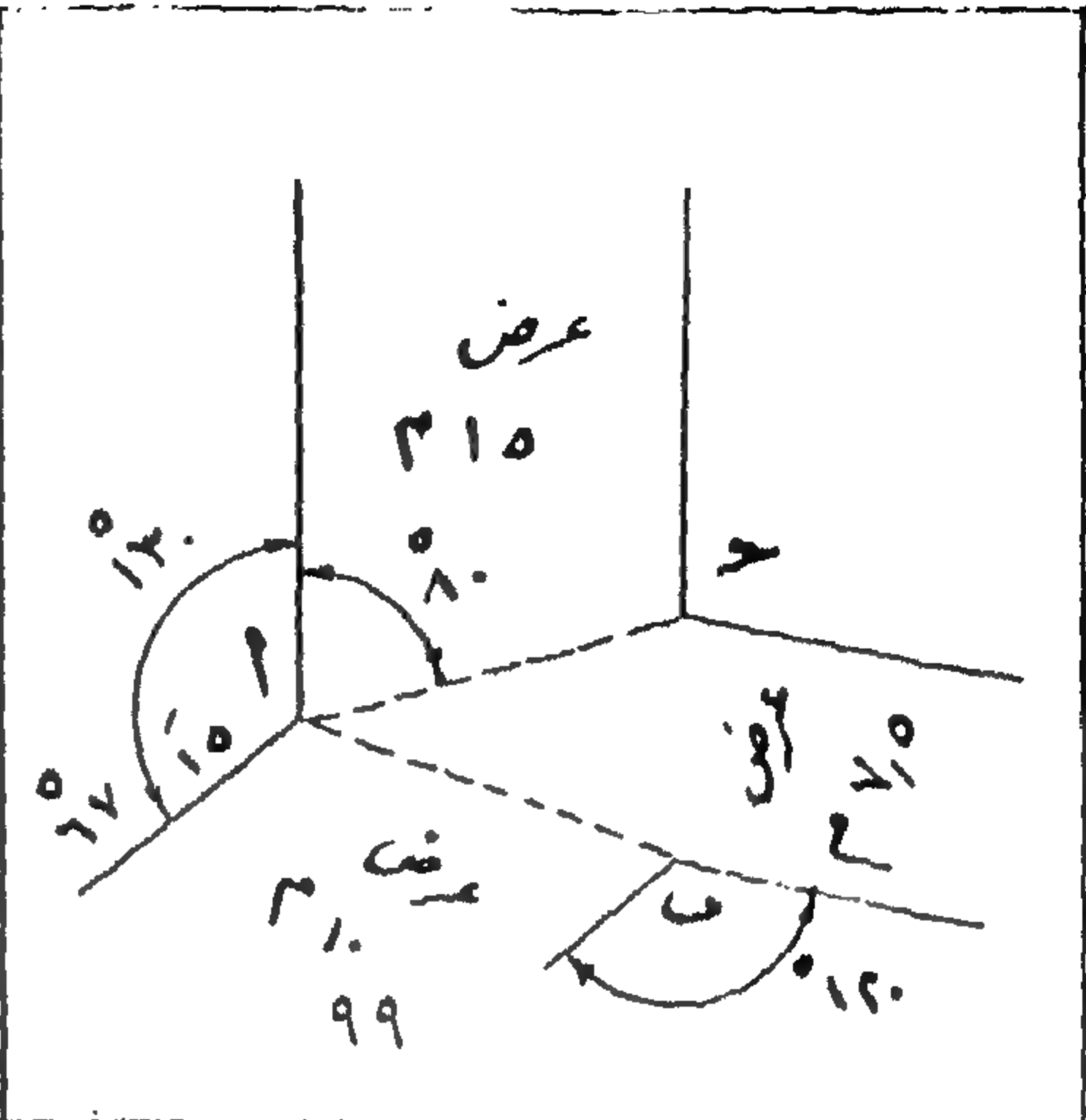
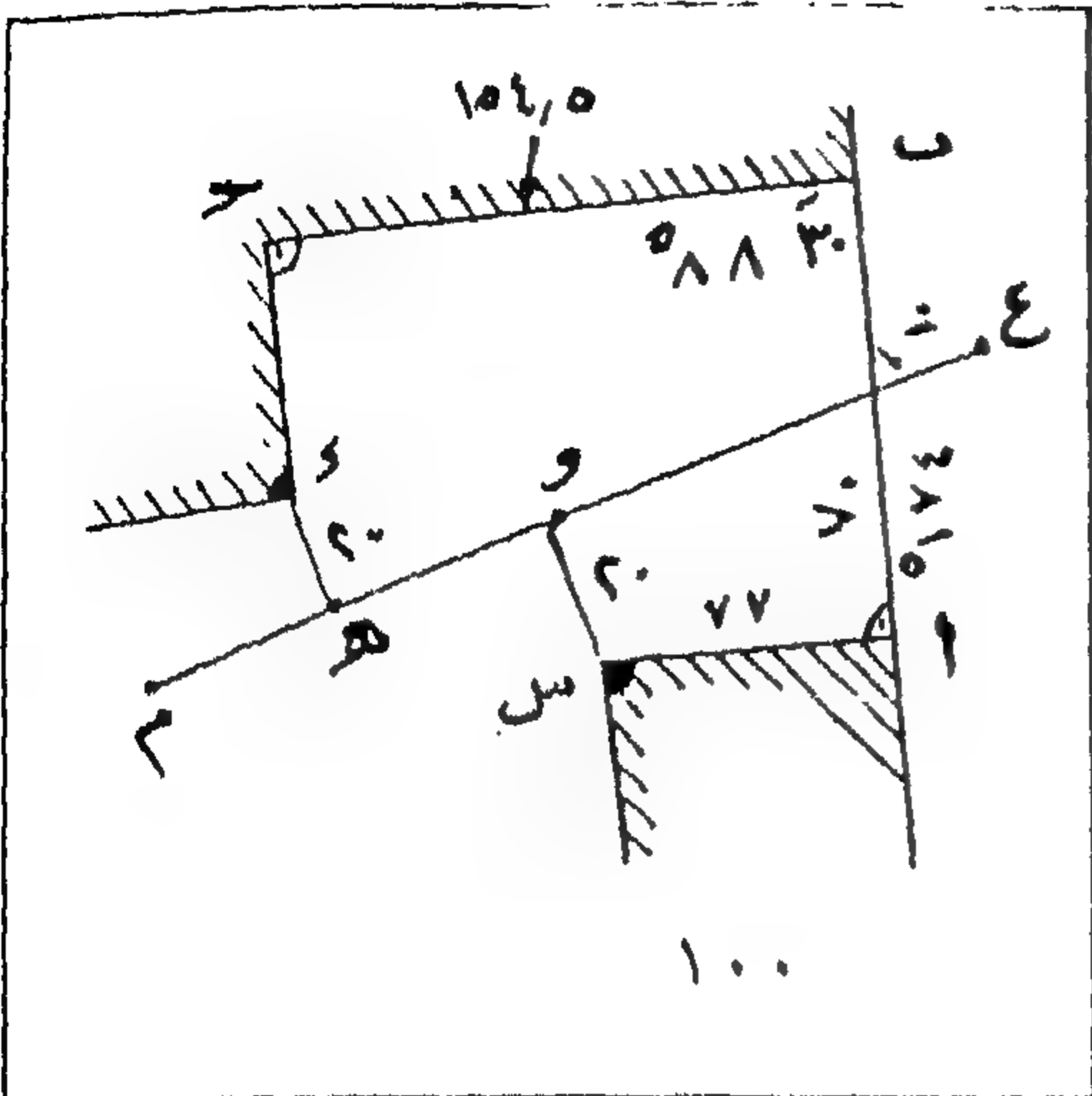
١٠٣ — يراد إيصال المنحنى ح ب د بالخط و ا ب بواسطة منحنى نصف قطره ٣٠٠ متراً وبحيث يكون مماساً عند ا ، ه . احسب المسافة ا ب ، وطول المنحنى ا ه . ج — ا ب = ١٣٣,٢٥ ، ا ه = ٢١٣,٣ م .

١٠٤ — من المعلومات المبينة احسب طول وانحراف ا د . ٢٤ ' ٥٦٤ ، ٤٥,٧٣ .

١٠٥ — طريقان ا ب ، ح د المسافة بين ا ، ح = ٤٠٠ م وبين ب ، د = ٥٠٠ م . انحراف ا ب = ١٠ ' ٥١٣٩ وطوله ١٣٠ م ، وانحراف ح د = ٢٠ ' ٥١٤ وطوله ١٤٠ م . احسب انحرافى ا ح ، ب د .

ج — ا ح ٣٠ " ٠١ ' ٦٨ ، ب د ٣٠ " ٥٣ ' ٥٣٩ .







١٠٦ — يراد تعديل الحد الغير منتظم ا ب ح د بين قطعتى الأرض (١) ،  
(٢) بالحد المستقيم س ص بدون تغيير فى المساحتين . أحسب انحراف  
س ص .

١٠٧ — منحنى فيه د نقطة التماس ، ح ، ب نقطتان تقعان عليه . أحسب  
المسافة ا د ، نصف قطر المنحنى ، ا ب = ٧٠١,٢ م وانحرافه ٥١١٠ انحراف  
د ا = ٥٢٠ وانحراف ا ح = ٥١٢٠ .

١٠٨ — فى الشكل ا ، ه نقطتان على حد قديم ووصلتا بترافرس  
ا ب ح د ه . أحسب الأحداثيات العمودية من النقط ب ، ح ، د على  
الخط ا ه . ج — ب ٥٠,٧٧ ، ح ١٠٠,٢٣ ، د ٣,٢٤ .

١٠٩ — من البيانات بالشكل يراد أقطاع الجزء الأسفل بالخط ه و بحيث  
تكون مساحته خمسة أفدنة انجليزية . أوجد طول ه و . ه و = ١٢٠٧,٠٢ .

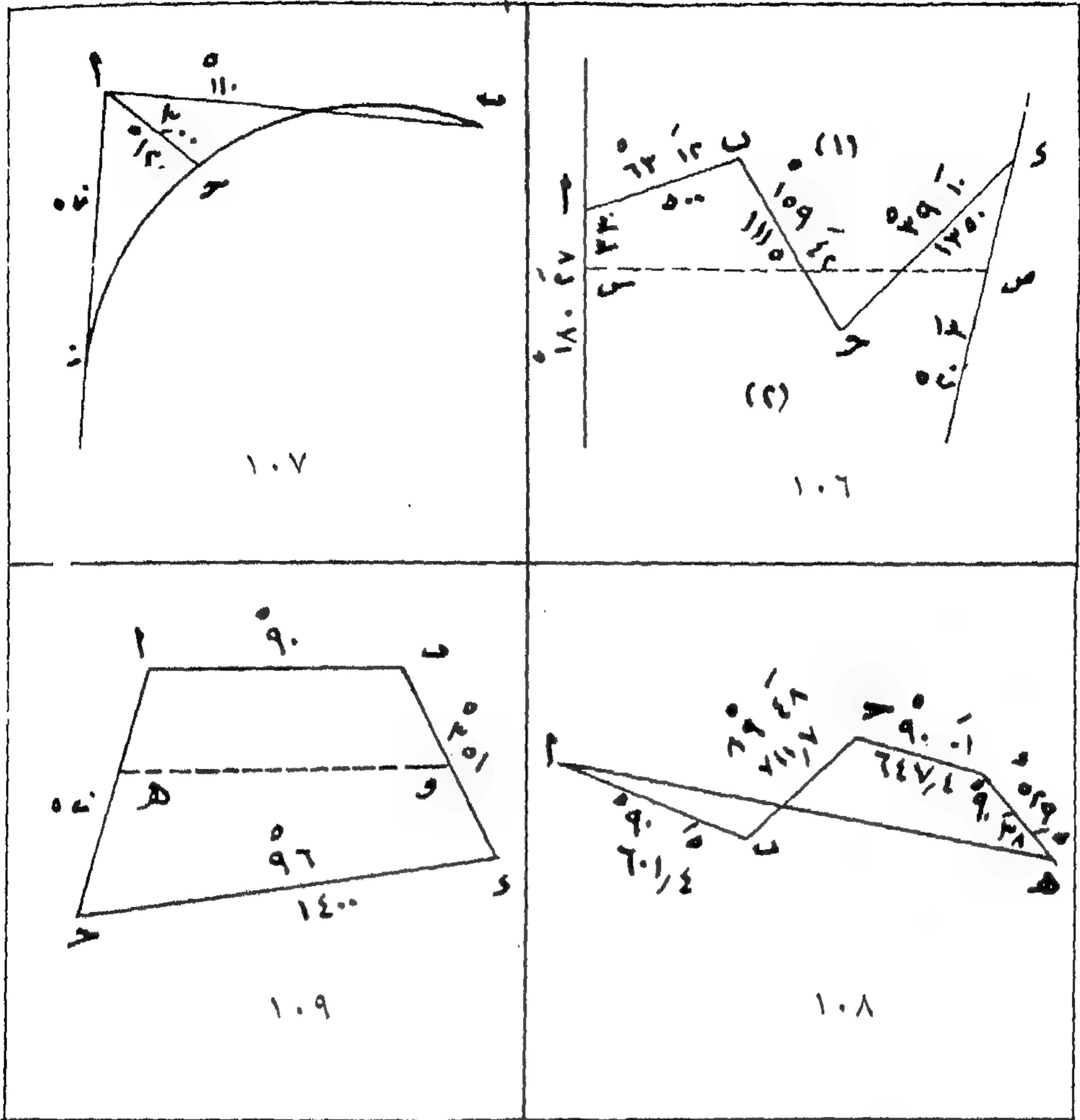
١١٠ — ا ب ح د قطعة أرض قيست الزوايا المبينة بالتيودوليت وقيست  
الأطوال ا د ، ب ح . أحسب طولى ا ب ، ح د . ا ب = ١٨٦٥١,٨ ح د = ٩٨١٢,٢

١١١ — طريقان تقاطعا فى ب . يراد إدخال منحنى دائرى و ب ه حيث  
و ، ه نقطتا التماس . وبحيث أن الخط ب ط يكون طوله ٤٠,٠ وانحرافه  
٥٣٤٠ . أحسب طول المنحنى ه و ، و ط . ج — ١١٦,٨٧ .

١١٢ — ا ، ب ، ح ثلاث نقط قيست أبعادها وانحرافاتهما من نقطة د  
فكانت على الترتيب ٥٢٨٧ ، ٥٣٠٠ م ، ٥٣٣٤ ، ٢٤٠ م ، ٥٧٢ ،  
٣٥٠ م . يراد إنشاء خط سكة حديد يمر بالنقط ا ، ب ، ح . أحسب  
نصف قطره .

١١٣ — ا ب حد يفصل بين قطعتى أرض انحرافه ٥٨٧ وطوله ١٠٠  
متر . أتفق المالكان على إنشاء طريق ح د ه و عرضه ١٠ متر بحيث أن  
المساحة المقتطعة من كل تكون متساوية كما أن كل من ح د ، و ه يتجه إلى  
الشرق تماماً . أحسب الأطوال ا ح ، ب د ، ح د ، و ه .

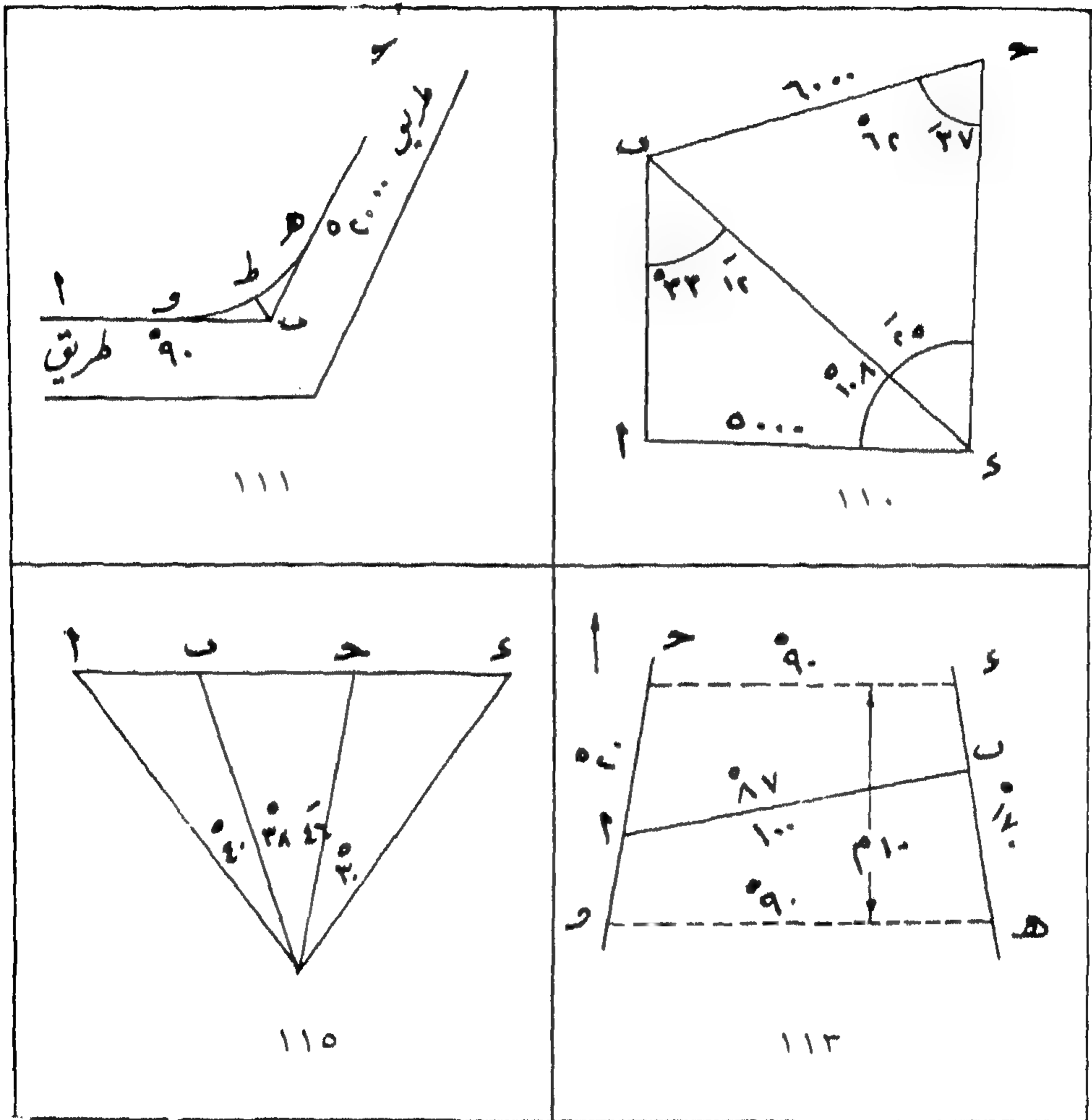




١١٤ — طريقان  $أ ح$  ،  $هـ ح$  يتقاطعان في  $ح$  .  $ب ط$  و  $د منحنى مركب$   
يمس الطريقين في  $ب$  ،  $د$  على الترتيب .  $ط$  نقطة التماس المشتركة . أوجد  
نصفى قطري المنحنيين  $ب ط$  ،  $ط د$  إذا علم أن الزاوية  $ب و د = ٥٩٠$   
والزاوية  $ب ح د = ٥٤٠$  وطول المماس  $ب ح = ٥٠٠,٠$  وطول المماس  
 $ح د = ٤٠٠,٠$  .  $(و)$  هي مركز المنحنى  $ب ط$  .

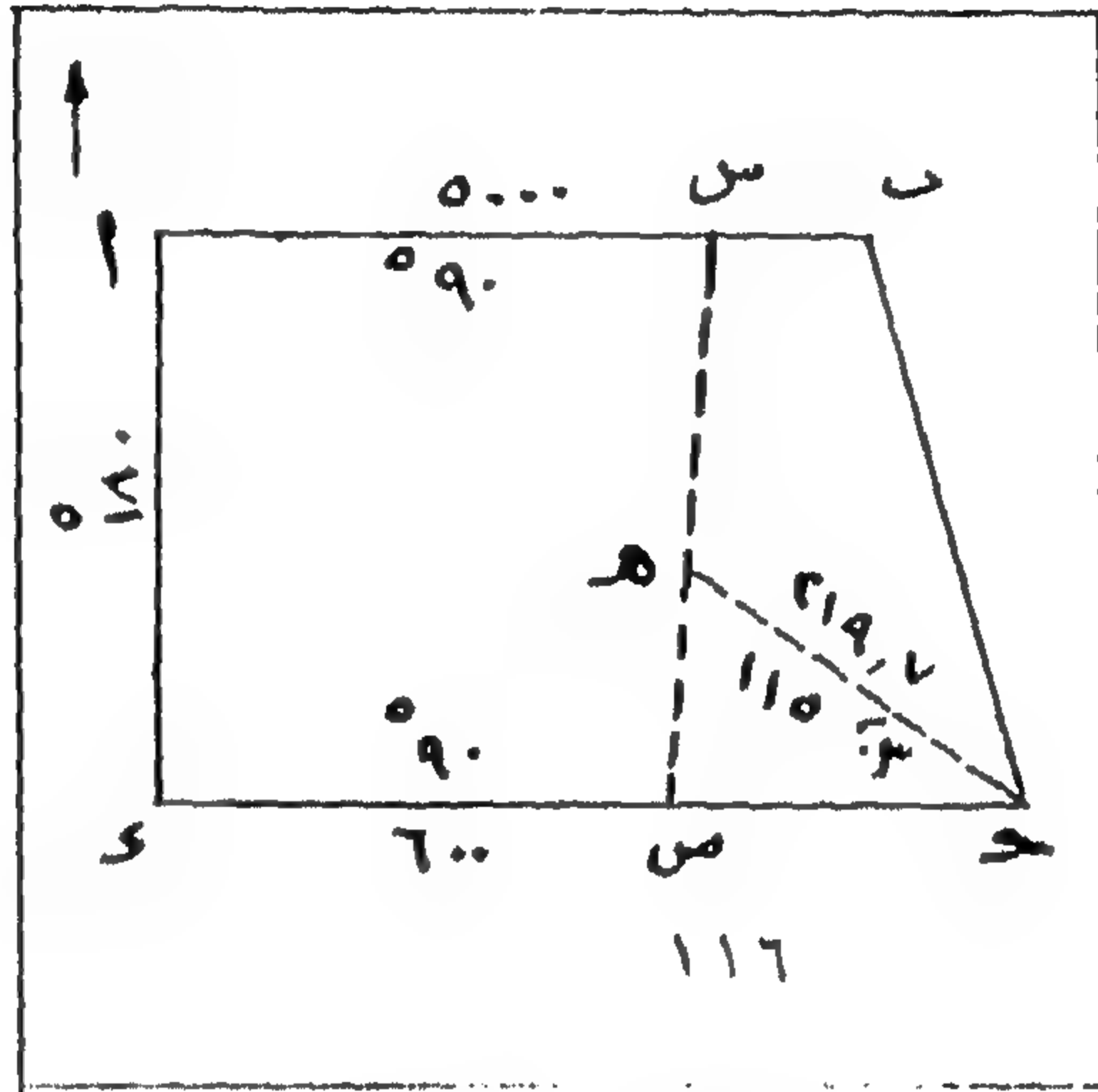
١١٥ —  $أ$  ،  $ب$  ،  $ح$  ،  $د$  أربع نقط تقع على خط مستقيم . وجد أنه من  
المستحيل قياس  $ب ح$  مباشرة ولكن يمكن قياس الزوايا المبينة في الشكل من  
نقط  $هـ$  . أوجد طول  $ب ح$  .







١١٦ — أ، ب، ح قيم لثلاثة أبراج من حاملة الأسلاك الكهربائي ويمكن رؤيتها من نقطة هـ . يراد تخطيط خط س ص عمودى على هـ س ويمر بنقطة هـ حيث ح ع = ٣٠٠ م . من المعلومات فى الشكل أحسب طول س هـ وانحراف س ع . ب ح = ١٥١٨ م .



١١٧ — رصدت أطوال وانحرافات خطوط مضلع خماسى فكانت كما يلى :

أ ب = ٣٢٠ ، ش ١٥ ' ٥٨٢ غـ ، ب ح = ٤١٧ ، ٢ ، ش ١٨ ' ٥٤ ق ،  
 ح د = ٢٨٩ ، ٤ ، ش ٣١ ' ٥٧٧ ق ، د هـ = ٥١٥ ، ٦ ، ح ٢٤ ' ٥٤٨ ق ،  
 هـ أ = ٢٣٧ ، ٩ ، ح ٣٢ ' ٥٦٩ غـ . فإذا فرض أن الأطوال صحيحة فأى  
 انحراف يحتوى على خطأ .

١١٧ م — زاوية د هـ و تساوى ٠٠ " ١٥ ' ٥٢٢ يراد توقيعها  
 بتيودوليت .

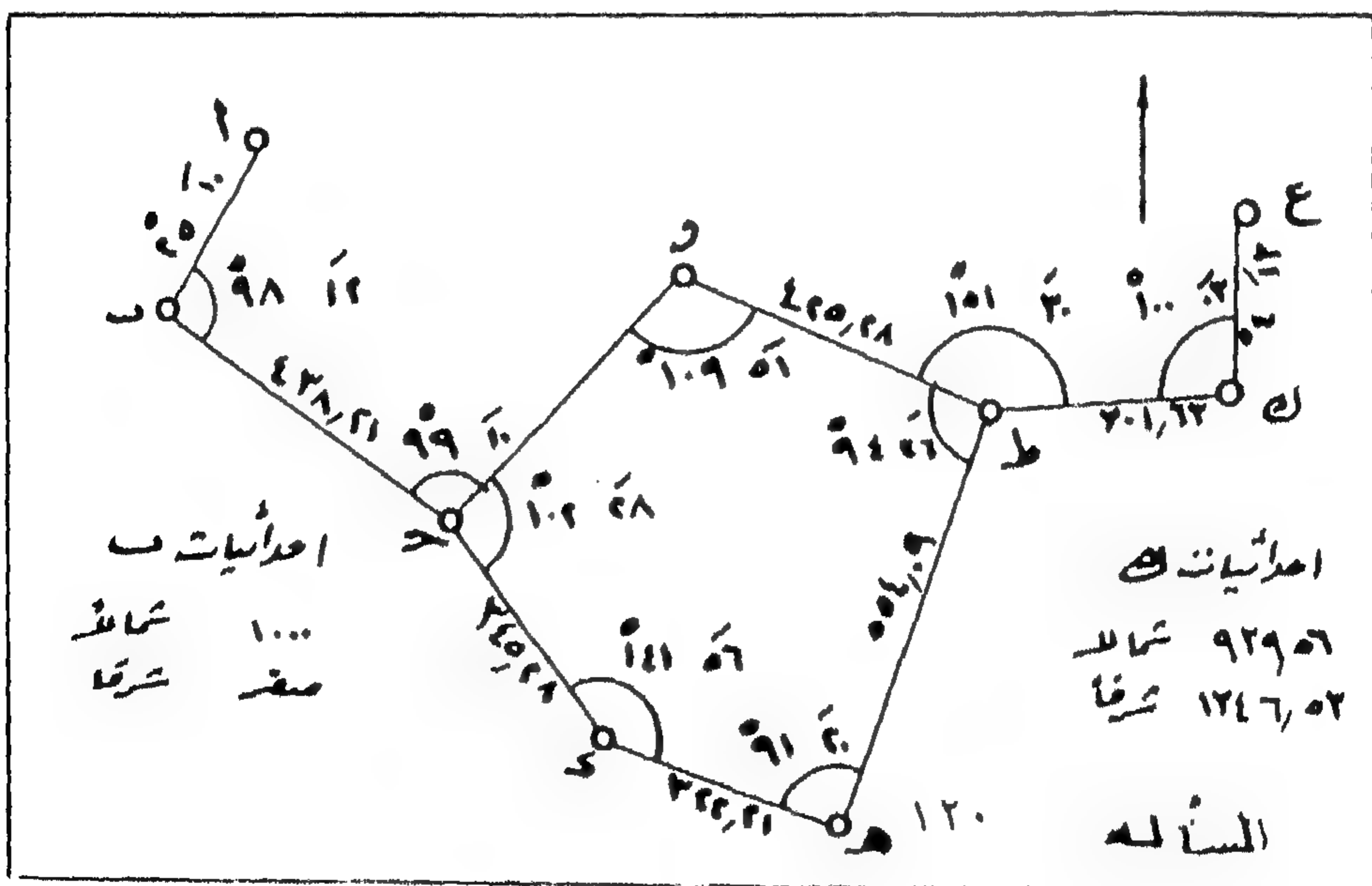
١١٨ — قيست الزاوية لنقطة أ بتيودوليت والجهاز متيامن فكانت القراءة  
 + ١٨ ' ٥٢ . جعل جهاز متياسرا ورصدت زاوية الارتفاع مرة أخرى  
 فكانت القراءة هى نفسها + ١٨ ' ٥٢ . ما مقدار خطأ الصفر . فإذا  
 رصدت لزاوية الرأسية لنقطة أخرى والجهاز متيامن فكانت — ٣٦ ' ٥٣ .  
 فما هى الزاوية الصحيحة . كم تكون الزاوية الصحيحة فى حالة لو كان الجهاز  
 متياسرا .



١١٩ — طريق جديد له إنحدار ١ إلى ١٠٠ في جزء منه يراد إبعاده بطريق آخر انحداره ١ إلى ١٥٠ إلى أسفل بمنحني رأسي طوله ٥٠٠ قدم . وجد أن نقطة ب على الطريق الأول تدريجها ٥١١٠٠ قدم ومنسوبها ٤٥,١٢ قدما ، نقطة ح على الطريق الثاني تدريجها ٦٠٠٠٠ قدما ومنسوبها ٤٤,٩٥ قدم . أوجد :

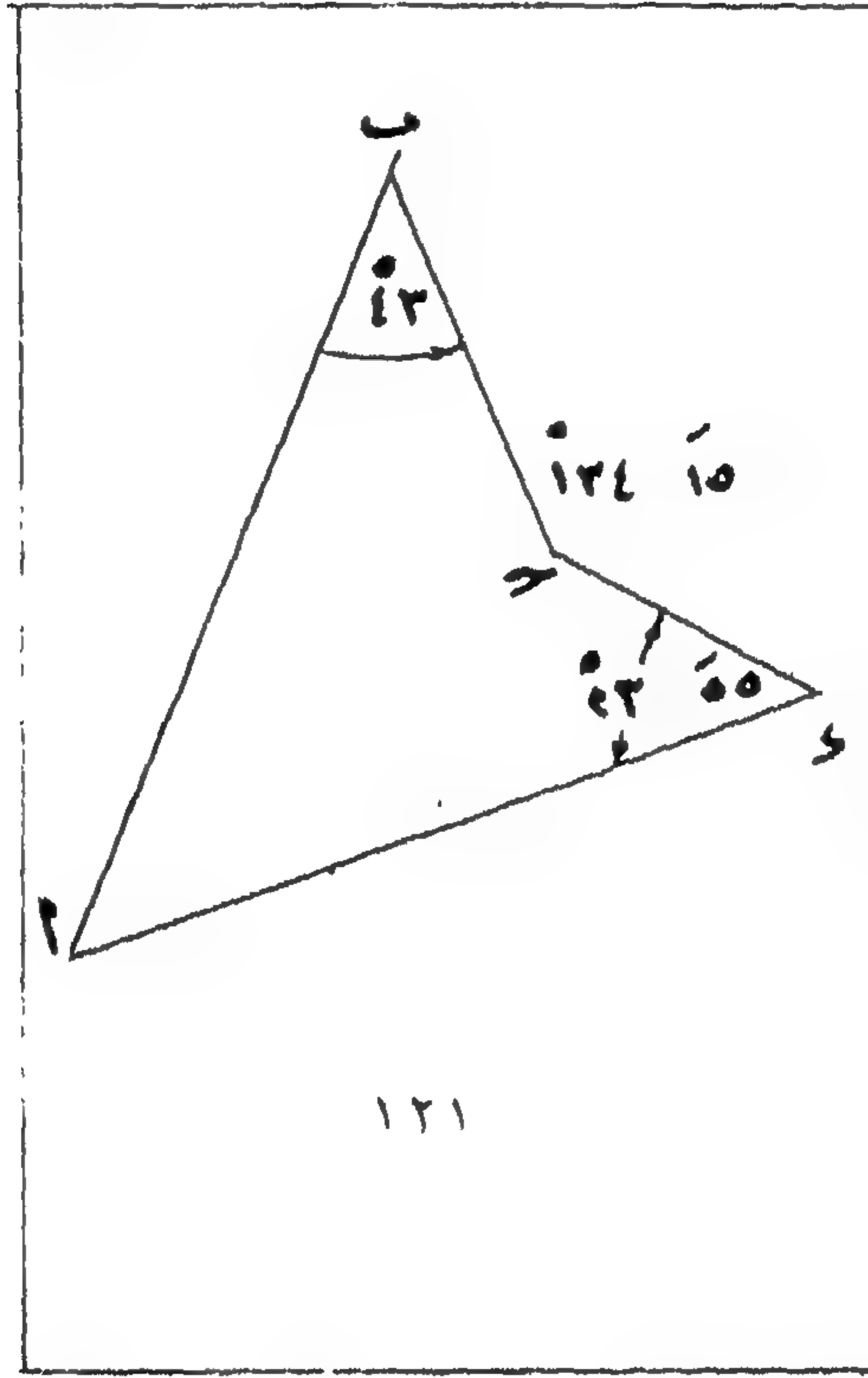
- أولاً — تدريج ومناسيب نقط التماس على المنحني .  
 ثانياً — أوجد في جدول مناسيب النقاط على فترات ١٠٠ قدم وكذلك منسوب أعلى نقطة .  
 ثالثاً — أوجد أقل مسافة رؤية للطريق إذا كان ارتفاع عين سائق عربة ٤ قدم ، وارتفاع عين سائق لورى ٦ قدم .  
 ( خذ مسافة الرؤية كطول المماس من عين السائق إلى سطح الطريق ) .

١٢٠ — صحح شبكة الترافرسات المبينة بالشكل .  
 طول و ح = ٤٢٦,٠٩ متر ( غير معين على الشكل ) .  
 طول ك ط = ٣٠١,٦٣ متر .





١٢١ - ب ا د حدود قطعة أرض سبق عمل ترافرس على حدودها وبعد التصحيح كان انحراف ا ب =  $40' 22''$  وانحراف ا د =  $3' 0.3''$  ٥١٠٠ .  
يراد معرفة أحداثيات مصدر رى ح في داخل القطعة فأجرى الترافرس ب ح د وقيست الزوايا الميمنة ، فإذا كانت أحداثيات ب هي - ١٠٠ ، رأسى ، - ٥٠ أفقى وأحداثيات د = - ٣٥٠ رأسى ، + ١٤١ أفقى . ما هي أحداثيات نقطة ح الصحيحة .



١٢٢ - مماس ا ب انحرافه  $42' 13''$  ، يراد تخطيط منحنى دائرى بنصف قطر قدره ٣٠٠٠ قدم وأوتار طول كل منها ١٠٠ قدم ليصل مماس آخر ب ح انحرافه  $18' 12''$  . فإذا كان تدريج نقطة الابتداء على المنحنى هي ١٩٦٣٨ قدم . بين في جدول الانحرافات للأوتار من نقطة التماس الأولى إلى أقرب ٣٠ " .



١٢٣ — تدريج نقطة ابتداء وانتهاء منحنى دائرى درجته ٥٢ ٥ هو  
٣٢٠,٣٤ ، ٣٣٩,٧٥ . أوجد زاوية التقاطع . وإذا زيدت زاوية التقاطع  
بإدارة المماس الثانى حول نقطة التقاطع خمس درجات . أوجد تدريج نقطة  
التماس الجديدة للمنحنى .

١٢٤ — منحنى نصف قطره ٦٠ جنزيراً يصل بين مماسين الفرق بين  
انحرافيهما ٥١٨ ٥ . وجد أنه يراد تغيير التخطيط بأدخال جزء مستقيم طوله ٦  
جنائير بين المماسين ويتوسط المسافة بينهما تماماً ثم إيصال هذا الجزء المستقيم  
بمنحنيين مع المماسين بنصف قطر واحد . فإذا كانت نقطة التماس الأصلية  
ستظل كما هى فى مكانها . أحسب نصف قطر المنحنيين المطلوب وأقصى بعد  
بين المنحنى الأصلى والمعدل .

١٢٥ — عند توقيع منحنى سكة حديد وجد أنه لزاماً أن يمر بنقطة تبعد  
٥٠ قدماً عن نقطة التقاطع وعلى بعدين متساويين من المماسين . تدريج نقطة  
التقاطع ٢٨٠,٨٠ وزاوية التقاطع ٥٢٨ ٥ . أحسب نصف قطر المنحنى وتدرج  
ابتداء وانتهاء المنحنى وكذلك درجة المنحنى .

١٢٦ — النقطة الأولى للتماس فى منحنى سكة حديد نصف قطر ٤٠  
جنزير تقع فى المادة ولكن أمكن إيجاد تدريجها وهو ١٩٣٦,٤٤ جنزيراً . يراد  
وضع وتد عند التدريج ١٩٤١ بالرصد من نقطة ١٩٣٤ على المماس . أحسب  
لأقرب ٢٠ " الزاوية الواجب توقيعها من المماس والمسافة الواجب قياسها  
لتوقيع هذا الوتد .

١٢٧ — من نقطة أ المعلومة يراد تخطيط مماس أ ب لمنحنى دائرى موجود  
نصف قطره ٤٠ جنزيراً وهذا المنحنى هو ب د ح . أجرى الخط أ ب ح  
ليقطع المنحنى بحيث أن أ ب = ١٠,٢٠ جنزيراً ، ب ح = ٤,٣٢ . أحسب  
الزاوية ب أ د ، طول القوس ب د .

١٢٨ — منحنى نصف قطره ٦٠ جنزيراً حيث أ ، ب هما نقطتا التماس  
والمماسين هما أ ح ، ب ح ، وزاوية تقاطعهما = ٢٨ ' ٥١٩ . يراد تعديل  
التخطيط للمماس ح ب إلى الوضع د ه ، حيث د تقع على ح ب ، وتبعد



بمقدار ١,٥٧ جنزير من ب ناحية ح ، والزاوية ح د ه على ح ب البعيد من ا هي ١٦ ' ٥١٧٧ . فإذا احتفظنا بمقدار نصف القطر الأصلي ، أوجد مسافة نقطة التماس الجديدة من ا ، د على الترتيب .

١٢٩ — ا ح ، ح ب خطا سكة حديد يتقاطعان في زاوية تقاطع قدرها ٢٦ ' ٥١٢ . وصلا بمنحنى ا ب نصف قطره ٦٠ جنزيرا ، وتدرج نقطة الابتداء ا هو ٣٤٦,٢٧ . من د على ا ح التي تبعد بمقدار ٣,٠٤ جنزيرا من ا . يراد تخطيط مماس د ه للمنحنى . أحسب (١) الزاوية ح د ه (٢) تدرج ه (٣) المسافة من نقطة تقاطع امتداد د ه مع ح ب ، ونقطة ب .

١٣٠ — من نقطة س التي احداثياتها ٨٤٦ متراً جنوباً ، ١٢٣٧٤ شرقاً خطط خط انحرافه ١٢ ' ٥٤٩ ، ومن نقطة ص التي احداثياتها ١٠٢٦ جنوباً ، ١٥١٨٨ شرقاً خطط خط انحرافه ٣٦ ' ٥٣٢٥ . أحسب احداثيات ( ع ) نقطة تقاطع هذه الخطين .

١٣١ — مثلث ا ب ح مساحته ١٠ أفدنة ، فيه طول القاعدة ب ح = ١٠٠ متر وانحرافها ٢٦٨ ' ٥٢٦٨ والحد ح ا انحرافه ٢٣٧ ' ٥٢٣٧ . فإذا كانت احداثيات نقطة ب هي — ٨٢٤,٨٩ ، + ٤٥١,٥٤ فما طول وانحراف الحد ا واحداثيات نقطة ا .

١٣٢ — لايجاد عرض بحيرة ب ه أجرى الترافرس ا ب ح د ه و وقد وجد أخيراً أن ا ، ب ، ه ، و على استقامة واحدة . فإذا كان إنحراف ا ب = ١٠٥ ' وطوله ٦٨ متراً ، وانحراف ب ح = ٧٢ ' وطوله ٩٥ متراً ، وطول ح د = ٤٧ متراً وانحرافه ١١٥ ' ، أما د ه فلم يمكن قياسه وإنما معلوم أنه يتجه إلى الجنوب تماماً ، ه و طوله ٥٠ متراً . أوجد طول د ه وعرض البحيرة .

١٣٣ — المطلوب طول الخط ب ه وانحراف الخط و ه من المعلومات الآتية :



ا ب ح ، مضلع فيه نقطة ه تقع على ب ح ، واحداثيات ب هي ٢٠٢ شرقاً ، ٦٥٢ شمالاً ، واحداثيات ح هي ٨٧١ شرقاً ، ٧١٠ شمالاً ، واحداثيات د هي ٩٥٦ شرقاً ، ١٤٧٥ شمالاً ، واحداثيات ا هي صفر شرقاً ، ١٠٠٠ شمالاً ( حيث و نقطة على ا د على بعد ٥٠٠ متر من ا ) . فإذا كانت النقطة ه هي مسقط العمود من و على ب ح فأحسب طول كل من ب ه ، ه و مستعملاً طريقة الترافرسات .

١٣٤ — مبين في الجدول التالي الأطوال والانحرافات لترافرس مقفل أجرى من ا إلى و ، وكل حرف يرمز إلى خط . فإذا كان طول ب وانحراف ه لم يرصد . وكان اتجاه الخط ه ناحية الجنوب الغربى تقريباً . المطلوب حساب المقادير المجهولة ( الأحداثيات إلى رقم عشرى واحد فقط ) .

الخط	الطول ( متر )	الانحراف
ا	٥٠٠٠	ش
ب	؟	ش ٠٠ ' ٥٤٥ ق
ح	٨٥٤,٤	ح ٢٧ ٦٩ ق
د	١٠١٩,٨	ح ١١ ١١٠ ق
ه	١١١٨,٠	؟
و	٦٥٦,٨	ش ٠٦ ٥٤ غ

١٣٥ — أوجد معدل الانحدار بين نقطتي ا ، ب من الأرصاد الآتية المأخوذة بتاكيومتر مجهز بعدسة تحليلية والثابت التاكيومتري = ١٠٠ .

من الجهاز	الانحراف	قراءات الشعرات	الزاوية الرأسية
إلى ا	٥٣٤٥	٠٠,٦٠٠ ، ١,١٤٨ ، ٠,٦٩٦	٠١٥ + متراً
إلى ب	٧٥	٠٠,٥٠٠ ، ١,٤٧٠ ، ٢,٤٤٠	٠١٠ + متراً

١٣٦ — وضع تيودوليت فوق نقطتين ا ، ب على حافة بحيرة منسوبها ١٢٤٠ متراً فوق سطح البحر . وضعت قامة على تل عند نقطة ح ورصدت ا ، ب من كل من النقطتين . الزاوية الرأسية من ح كانت ١٤ ' ٥١٥ وذلك عند النقطة ا والزاوية الأفقية ح ا ب ، ح ب ا كانت على التوالي ١٠ ٥٥٩ ،



٤٨ ' ٥٧١ طول الخط ا ب = ٨٢٠ متراً ، أوجد ارتفاع ح فوق سطح البحر .

١٣٧ — منسوب و تد من أوتاد عملية مساحية = ٣٤,٦ قدماً ، وضع فوقه جهاز تاكيومتر مجهز بعدسة تحليلية وثابته التاكيومتري = ١٠٠ وكان خط النظر منسوبه ٤,٢ قدماً فوق منسوب الود . أخذت رصد على قمة موضوعة رأسية فكانت زاوية الانخفاض ٤٥ ' ٥٧ وقرءات الشعرات على القمة هي ٤,٥٠ ، ٧,٣٧ ، ١٠,٢٤ . تركت القمة فوق النقطة بينما نقل الجهاز إلى نقطة ب وأخذت منها رصد إلى نقطة القمة وكانت زاوية الارتفاع في هذه الحالة ٣٠ ' ٥٩ وقرءات الشعرات ٣,٠٠ ، ٥,٥٦ ، ١٣ , قدماً . أحسب منسوب نقطة ب إذا كان ارتفاع خط النظر فوق الود في النقطة ٣,٦ قدماً .

١٣٨ — في ترافرس أريد إيجاد المسافة بين النقطتين ا ، ب . ا كانت ظاهرة من إحدى نقط الترافرس س ، أما ب فكانت ظاهرة من نقطة أخرى ص أخذت أرصاد تاكيومترية من س ، ص على قائمتين موضوعتين فوق ا ، ب وكانت الأرصاد كما يلي :

نقطة الترافرس	الأحداثيات		نقطة القمة	الانحراف	الزاوية الرأسية	قرءات الشعرات
	ص	س				
س	١٠٧٥,٦ ش	٢٨٤٣,٢ ق	ا	٥٣٣٦ ٤٢	٥١٨ ٢٣	٥,٠٠ قدماً ٩,٢٤٤٧,١٢ ٦,٠٠ ٩,٩١٤٧,٩٥
ص	٨٣٩,٣ ش	٣٦٠٩,٥ ق	ب	٥١٢ ٢٧	٥١٥ ١٦	

الجهاز مزود بعدسة تحليلية والثابت التاكيومتري ١٠٠ . أحسب المسافة ا ب .



## محتويات الكتاب







القسم الأول  
التيودوليت الحديث  
الباب الأول  
التيودوليت الحديث

تقديم — تيودوليت الاتجاه — تيودوليت التكرار — التيودوليت الحديث — تيودوليتات ذات دقة عالية — تيودوليتات دقيقة — تيودوليتات متوسطة وعالية الدقة — مزايا التيودوليت الحديث — قياس الزوايا بالتيودوليت الحديث — احتياطات القياس — طرق قراءة الزوايا — طريقة وايلد — طريقة زايس — طريقة كيرن .

الباب الثاني

الطرق الدقيقة لرصد الزوايا الأفقية

طريقة جاوس — شراير — طريقة المجموعتين — طريقة الاتجاه المساعد — طريقة توميلين — طريقة الزوايا المفردة — طريقة القطاعات — تمارين .

الباب الثالث

الضبط الدائم للتيودوليت

أنواع الضبط الدائم — الضبط الدائم للشروط التي تجرى في الغيط — قياس الزوايا الرأسية وخطاً الاستدلال — الضبط الدائم للعيوب التي لا يمكن ضبطها وتصحيحها إلا في المصنع — أمثلة محلولة — مسائل .



## الباب الرابع

### ٩٣ تعيين الأرتفاعات والمسافات بالتيودوليت

أولاً — تعيين الأرتفاعات — I — تعيين ارتفاع قمة هدف وقاعدته عن نقطة أرضية ولا يمكن الوصول إلى قمة أو قاعدة الهدف — II — تعيين طول هدف يمكن رؤية كل من قاعدته وقمته ولا يمكن الوصول إليها — III — تعيين طول هدف مائل ( عامود علم مائل مثلاً ) على قمة مبنى — IV — تعيين أرتفاع هدف من ثلاث زوايا ارتفاع فقط .

ثانياً — تعيين المسافات ١ — مسألة خط القاعدة المنكسر — مسائل

## القسم الثاني

### ١٢١ ترافرسات التيودوليت

تقديم

## الباب الخامس

### ١٢٥ الأرصاد الناقصة في الترافرسات

أسس رياضية في حساب الترافرسات — الأرصاد الناقصة — المجهول طول ضلع واحد — المجهول انحراف ضلع واحد — المجهول طول ضلع وانحرافه — المجهول طول ضلع وانحراف ضلع آخر — المجهول طولاً ضلعين — المجهول انحرافاً ضلعين — تمارين .

## الباب السادس

### ١٤٧ الترافرس الموصل

مقدمة — الخطوات النموذجية لأجراء الحسابات — تصحيح الكروكي — تصحيح خطأ القفل الزاوي — حساب المركبات — خطأ القفل الضلعي وتصحيحه — توقيع المضلع — تمارين .

## الباب السابع

### ١٦١ الترافرس المفتوح

التغلب على عيوب المضلع المفتوح — حسابات المضلع المفتوح — تمارين .



## الباب الثامن

### شبكات الترافرسات

١٦٩

تعريف — ضبط شبكات الترافرسات البسيطة بالطريقة التقريبية —  
طريقة التصحيح المتتالي لضبط شبكات الترافرس — طريقة  
بوروبوف — تمرينات .

## الباب التاسع

### استخدام الترافرسات في تقسيم الأراضي وتعديل الحدود

٢٠٩

١ — حساب المساحة المقتطعة بخط يصل بين نقطتين معلومتين على  
حدود النقطة — ٢ — إيجاد المساحة المفصولة بخط من أحد أركان  
القطعة ومعلوم انحرافه — ٣ — اقتطاع مساحة معينة بخط مستقيم يمر  
بنقطة معلومة على حدود القطعة — ٤ — اقتطاع مساحة معينة بخط  
ذو انحراف معين — ٥ — تعديل الحدود .

## الباب العاشر

### ترافرسات المشروعات

٢١٧

النوع الأول — مشروعات في أرض لا يوجد بها نقط ترافرس سابقة  
ولكن شبكات المثلثات كاملة بالمنطقة — النوع الثاني — مشروعات  
في أرض ترافرسات الغيط بها كاملة ومصححة — النوع الثالث —  
مشروعات في أرض لا يوجد بها ترافرسات أو شبكات مثلثات تربط  
عليها — تعيين النقط بالتقاطع .

## الباب الحادى عشر

### ترافرسات المساحة التفصيلية

٢٢٣

### المدن والأرياف

أغراض ترافرس المساحة التفصيلية — أنواع الترافرس — ترافرس  
الغيط — ترافرس المنافع العمومية — ترافرس المدن .



### القسم الثالث

#### المساحة التاكيومترية

٢٥٥

المساحة التاكيومترية — أغراضها — نظرية القياس التاكيومتري —  
طرق المساحة التاكيومترية .

#### الباب الثاني عشر

##### طريقة شعرات الاستاديا

٢٦١

حساب المسافة الأفقية والبعد الرأسى — حالة النظرات الأفقية —  
حالة النظرات المائلة — تعيين الثابت التاكيومتري والثابت  
الاضافى — تأثير الانكسار الجوى — أجهزة خاصة لتبسيط العمليات  
الحسابية فى طريقة شعرات الاستاديا — التاكيومترات المختزلة —  
تاكيومتر دالتا ( زايس ) .

#### الباب الثالث عشر

##### طريقة الظلال

٢٨١

حالات طريقة الظلال — وخط النظر أفقى — عندما لا تسمع طبيعة  
الأرض بأخذ نظرات أفقية — طرق عملية لتسهيل حساب معادلات  
طريقة الظلال — طريقة بارسناس .

#### الباب الرابع عشر

##### طريقة قضيب الأنفار

٢٩١

نظرية القياس — دقة القياس — مميزات — استعمالات الجهاز —  
طريقة القياس — حالات القياس المختلفة .

#### الباب الخامس عشر

##### طرق وأجهزة الصور المزدوجة

٣٠٥

منشور المسافة — التاكيومتر المختزل ذو المنشور ( الردتا ) — جهاز  
RDH — جهاز التليوب — جهاز القاعدة المختزل .



## الباب السادس عشر رفع منطقة بالتاكيومتر

٣٢١

طريقة العمل — احتياطات هامة في العمل — عمل المكتب — مثال  
على المساحة التاكيومترية — مصادر الأخطاء في المساحة  
التاكيومترية — الخطأ المسموح به — مسائل .

## القسم الرابع المنحنيات

٣٣٥

مقدمة

## الباب السابع عشر المنحنيات الدائرية البسيطة

٣٣٩

أنواع المنحنيات الدائرية — تعريف المنحنى — أجزاء وعناصر  
المنحنى البسيط وحسابها — تعيين نصف قطر المنحنى في الطبيعة —  
تدريج المنحنى — تخطيط المنحنى البسيط — ١ — تخطيط الخطوط  
المستقيمة — ٢ — تخطيط المنحنى وطرقها — مسائل .

## الباب الثامن عشر المنحنيات المركبة والعكسية المنحنيات المركبة

٤١٧

عناصر وأجزاء المنحنى المركب — خواص المنحنى المركب —  
العلاقة بين أجزاء المنحنى — تخطيط المنحنى المركب .

## المنحنيات العكسية

خواص المنحنيات العكسية — أجزاء المنحنى العكسي — العلاقة بين  
أجزاء المنحنى العكسي — أمثلة — مسائل .



## الباب التاسع عشر

### المنحنيات الانتقالية

٤٣٩

مقدمة — أغراض استعمال منحنيات الانتقال — أدخل المنحنيات الانتقالية — شروط أدخل المنحنى الانتقالي — أنواع المنحنيات الانتقالية — منحنى الانتقال الحلزوني — أمثلة — تخطيط المنحنى الحلزوني — القطع المكافئ التكعيبي — مسائل .

## الباب العشرون

### المنحنيات الرأسية

٤٧٧

أنواع المنحنيات الرأسية — أجزاء المنحنى الرأسى — أمثلة على تخطيط المنحنى الرأسى — تعيين طول منحنى رأسى يمر بنقطة محددة — تطبيقات على المنحنيات الرأسية — المنحنيات الرأسية المركبة — مسائل .

## الباب الحادى والعشرون

### مسافة الرؤية

٥١٧

المنحنيات الرأسية المحدبة — مسافة الايقاف أو التوقف — مسافة التجاوز — علاقة طول المنحنى بمسافة الرؤية .  
المنحنيات الرأسية المقعرة — مسافة الرؤية للنور الأمامى .

## القسم الخامس

### مساحة الأنفاق والمناجم

٥٤٣

## الباب الثانى والعشرون

### مساحة الأنفاق والمناجم

٥٤٥

مقدمة — أنواع الأنفاق — المعلومات المساحية التى تعطى على الخرائط التنفيذية — توقيع نقط شبكة مساحة الأنفاق على السطح



العلوى — الضبط الأفقى والرأسى لتقابل طرق محور النفق —  
العوامل المؤثرة على نقط خطأ التقابل فى الأنفاق — حساب الدقة  
المطلوبة لشبكة مثلثات الأنفاق — الترافرسات المكملة لشبكات  
المثلثات فى مساحة الأنفاق — نقط الترافرس داخل النفق .

### الباب الثالث والعشرون ربط شبكات المثلثات الأرضية بالشبكة الداخلية فى الأنفاق

٥٦٥

طريقة الربط خلال بئر رأسى — الربط بواسطة المثلثات المساعدة —  
الربط خلال بئر مائل — نقل المناسيب من سطح الأرض إلى داخل  
الأنفاق — استخدام الأجهزة الكهروضوئية فى إيجاد مناسيب  
الأنفاق .

### القسم السادس التطبيقات الدقيقة للمساحة فى الهندسة المدنية

٥٧٩

### الباب الرابع والعشرون حساب تحركات المنشآت

٥٨١

الطرق المساحية لضبط تحركات المنشآت — التحركات الرأسية  
للمنشآت — الطرق المساحية لقياس التحركات الرأسية للمنشآت  
المدنية — طريقة قياس الهبوط بواسطة الميزانية — العلامات المساحية  
التي تستعمل فى قياس هبوط المنشآت — أجهزة قياس الهبوط  
بالميزانية — تنفيذ الميزانية — توزيع علامات الهبوط على الكبارى —  
ضبط الهبوط فى المباني والمنشآت المدنية — الطرق المساحية لقياس  
التحركات الأفقية للمنشآت المدنية — طريقة قياس التزحزح عن  
الخط الثابت — طريقة قياس التزحزح بالترافرس — طريقة  
المثلثات — طريقة القياس بتثبيت ثقل رأسى أو عوامة .



٦٠٣      الباب الخامس والعشرون  
رأسية المنشآت وتطبيقات أخرى

ضبط رأسية المنشآت — تثبيت مجموعة من الأعمدة رأسياً على صف واحد — ضبط رأسية الحوائط السابقة التجهيز — نقل المناسيب إلى أعلى المنشآت — نقل المحاور للمنشأ إلى الأدوار المتكررة — رصد الميل الحادث في المنشآت العالية .

٦١٣      الباب السادس والعشرون  
التحقق من دقة تنفيذ منحنيات  
السكة الحديد

باستخدام طريقة الأسهم — باستخدام الأجهزة — طريقة جونيكرج — طريقة لوتز — طريقة النقط الثابتة .  
٦٢٠      مسائل عامة متنوعة



رقم الإيداع ٤٨٠٥ / ١٩٩٠

الترقيم الدولي 7 - 0021 - 03 - 977 ISBN



مركز الدلتا للطباعة  
٢٤ شارع الدلتا — اسبورتنج  
تليفون ٥٩٥١٩٢٣







# مجموعة مؤلفات المساحة

## ١ - المساحة المستوية

طرق الرق المسطح واليوم المسطح

## ٢ - المساحة المستوية

المبرانيات والكهيات

## ٣ - المساحة الطبوغرافية

وتطبيقاتها في الهندسة المدنية

## ٤ - المساحة التصويرية

المقاييس الالكترونية ونظرية الأخطاء

## ٥ - المساحة الجيوديسية